

Využití vodíkového pohonu v městské hromadné dopravě a jeho vliv na kvalitu ovzduší

Bc. Vojtěch Nekula

Diplomová práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení
Ústav environmentální bezpečnosti

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Vojtěch Nekula
Osobní číslo:	L21201
Studijní program:	N1032A020002 Bezpečnost společnosti
Specializace:	Environmentální bezpečnost
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Využití vodíkového pohonu v městské hromadné dopravě a jeho vliv na kvalitu ovzduší

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte literární rešerši v kontextu s řešenou problematikou.
2. Provedte analýzu využití vodíkového pohonu v dopravě.
3. Provedte analýzu vlivu vodíkového pohonu na kvalitu ovzduší v zájmové oblasti.
4. Navrhněte řešení ke zlepšení kvality ovzduší v kontextu Vámi řešené problematiky.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. LIPMAN, Tymohty E. a WEBER, Adam Z., 2. vydání. *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology Series: Fuel Cells and Hydrogen Pruduciton*. NewYork: Springer, 2019. ISBN 978-1-4939-7788-8.
2. SANKIR, Mement a SANKIR, Nurad D., 1. vydání. *Hydrogen Storage and Technologies*. Beverly: Wiley-Scrivener, 2018. ISBN 978-1-119-45988-0.
3. ZOHURI, Bahman. *Hydrogen Energy: Challenges and Solutions for a Cleaner Future*. Cham: Springer, 2018. ISBN 978-3-319-93460-0.

Další odborná literatura dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Vladimír Adamec, CSc.**
Ústav environmentální bezpečnosti

Datum zadání diplomové práce: **1. prosince 2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **28. dubna 2023**

L.S.

doc. Ing. Zuzana Tučková, Ph.D.
děkanka

doc. Ing. Pavel Valášek, CSc. LL.M.
ředitel ústavu

V Uherském Hradišti dne 2. prosince 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

V Uherském Hradišti, dne: 28.4.2023

Jméno a příjmení studenta: Bc. Vojtěch Nekuľa

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na problematiku vodíkového pohonu a jeho vlivu na kvalitu ovzduší. V teoretické části se práce soustředí na využití vodíkového pohonu v dopravě a jeho působení na kvalitu ovzduší. Dále práce popisuje možnosti podpory rozvoje vodíku. Praktická část obsahuje analýzu ovzduší města Hodonín, analýzu dopravní situace společně s představením typů vodíkových autobusů a jejich vlivů na kvalitu ovzduší. V návrhové části je shrnutý plán pro implementaci vodíkových autobusů společně s ekonomickým zhodnocením návrhu. V ideálním případě by výsledkem práce bylo zavedení vodíkových autobusů v rámci městské hromadné dopravy ve městě Hodonín, místo aktuálních autobusů na fosilní paliva.

Klíčová slova: Vodíkový pohon, kvalita ovzduší, emise, autobus

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the hydrogen propulsion system and its impact on air quality. The theoretical part of the thesis focuses on the use of hydrogen propulsion system in transport and its impact on air quality. Furthermore, the thesis describes the possibilities of promoting the development of hydrogen. The practical part includes an analysis of the air quality in the city of Hodonín, an analysis of the traffic situation along with an introduction of types of hydrogen buses and their effects on the air quality. The proposal for the implementation of hydrogen buses is summarized in the design section together with an economic evaluation of the proposal. Ideally, the result of the work would be the implementation of hydrogen buses into public transport in Hodonín instead of the current fossil fuel buses.

Keywords: Hydrogen Propulsion System, Air Quality, Emissions, Bus

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce prof. Ing. Vladimírovi Adamcovi, CSc. za jeho rady, trpělivost a velkorysost, při zpracování této práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 SOUČASNÝ STAV VYUŽITÍ VODÍKOVÉHO POHONU V DOPRAVĚ	12
1.1 VYUŽITÍ VODÍKOVÉHO POHONU V ČESKÉ REPUBLICE.....	12
1.1.1 Vodíková infrastruktura v ČR.....	14
1.2 VYUŽITÍ VODÍKOVÉHO POHONU V USA	15
1.2.1 Provázanost vodíkové infrastruktury s energetickou infrastrukturou	16
1.3 VYUŽITÍ VODÍKOVÉHO POHONU V ČÍNĚ	17
1.4 VYUŽITÍ VODÍKOVÉHO POHONU V NĚMECKU	18
2 VLIV VODÍKOVÉHO POHONU NA KVALITU OVZDUŠÍ	20
2.1 MÍRA ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ Z DOPRAVY V ČR.....	20
2.2 VODÍKOVÝ POHON (FCEV).....	22
2.3 SPALOVACÍ MOTORY VS OSTATNÍ POHONY V KATEGORII OSOBNÍCH VOZIDEL	23
2.4 VLIV VODÍKOVÝCH TĚŽKÝCH UŽITKOVÝCH PROSTŘEDKŮ NA KVALITU OVZDUŠÍ	23
2.5 ZPŮSOBY VÝROBY VODÍKU.....	24
2.6 SHRNUÍ KAPITOLY	25
3 SOUČASNÁ OPATŘENÍ PŘIJÍMÁNA K PODPOŘE ROZŠÍŘENÍ VODÍKOVÉ MOBILITY V ČR	26
3.1 PODPORA ROZVOJE VODÍKOVÝCH AUTOBUSŮ	27
3.2 PODPORA VODÍKOVÉ INFRASTRUKTURY	27
3.3 PODPORA ROZVOJE VODÍKOVÉ MOBILITY V ČÍNĚ	28
3.4 LEGISLATIVNÍ NÁSTROJE	28
3.5 SHRNUÍ KAPITOLY	29
4 DÍLČÍ ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI	30
II PRAKTICKÁ ČÁST	31
5 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU	32
5.1 MĚSTO HODONÍN	32
5.2 DOPRAVNÍ SITUACE.....	32
5.3 VOZOVÝ PARK.....	37
5.4 DOPRAVNÍ SÍŤ	39
6 SPOLEČNOST ČSAD HODONÍN	41
6.2 TYP AUTOBUSU IRISBUS CROSSWAY LOW ENTRY 12,8M	42
6.3 TYP AUTOBUSU SOR CN 12.....	42

7	ANALÝZA KVALITY OVZDUŠÍ	44
7.1	CHARAKTERISTIKA OVZDUŠÍ V JIHOMORAVSKÉM KRAJI	44
7.2	MĚŘÍCÍ STANICE ČHMU	44
7.3	IMISNÍ LIMITY PRO OCHRANU OVZDUŠÍ.....	44
7.3.1	Měřicí stanice Hodonín	45
7.4	MĚŘÍCÍ STANICE MIKULOV – SEDLEC	48
7.5	SOUHRNNÉ ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ Z MĚŘÍCÍCH STANIC HODONÍN	48
8	VODÍKOVÉ AUTOBUSY PRO MHD HODONÍN.....	50
8.1	VODÍKOVÝ AUTOBUS ŠKODA H'CITY	50
8.2	VODÍKOVÝ AUTOBUS CAETANO BUS	51
8.3	VODÍKOVÝ AUTOBUS ELEC CITY FUEL CELL	51
8.4	VODÍKOVÝ AUTOBUS A12 FUEL CELL	52
8.5	WRIGHT BUS	53
9	EMISE Z VODÍKOVÝCH AUTOBUSŮ (FCEB)	55
9.1	EMISE PEVNÝCH ČÁSTIC Z PNEUMATIK	55
9.2	EMISE PEVNÝCH ČÁSTIC Z BRZD A VOZOVKY	57
9.3	NORMA EURO 7.....	57
9.4	SROVNÁNÍ AUTOBUSŮ	58
10	RIZIKA PRO ZDRAVÍ	60
	POUŽITÉ METODY A JEJICH ŘEŠENÍ	63
10.1	SWOT ANALÝZA	63
10.2	ISHIKAWA DIAGRAM.....	66
10.3	VÍCEKRITERIÁLNÍ MATICE	68
10.4	SHRUTÍ POUŽITÝCH METOD	71
11	PRINCIP UDRŽITELNÉHO ROZVOJE	72
12	NÁVRH ŘEŠENÍ DANÉ PROBLEMATIKY	73
12.1	EKONOMICKÁ STRÁNKA PROJEKTU	73
12.1.3	Náklady na provoz autobusů.....	75
12.2	SHRUTÍ FINANČNÍ NÁROČNOSTI PROJEKTU	76
12.3	Vlivy a benefity na kvalitu ovzduší a zdraví obyvatel.....	77
	ZÁVĚR	81
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	82
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	88
	SEZNAM OBRÁZKŮ	89
	SEZNAM TABULEK.....	90

ÚVOD

Automobilová doprava je nedílnou součástí dnešní doby. Jedná se o součást našeho života, kterou bereme jako samozřejmost. Málokdo by si uměl představit cestovat, aniž by měl k dispozici moderní dopravní prostředek, může se jednat o auto či letadlo. Od doby, kdy Henry Ford spustil v roce 1908 pásovou výrobu uběhlo už přes sto let, a to se pozoruhodně projevilo i na vývoji v dopravě. Auta získala schopnost cestovat dlouhé vzdálenosti, a především se výrazně zlepšila jejich dostupnost. Problémem je, že s přibývajícím populací a zlepšující se životní úrovní, přibývá také aut. Tento fakt se značně podepsal na kvalitě ovzduší, kde emise a nečistoty z dopravy tvoří značnou část z celkového globálního znečištění ovzduší. Hodnota znečišťujících látek z dopravy se pohybuje okolo 15 % z celkového znečištění ovzduší. Je to hodnota, kterou je potřeba začít intenzivněji řešit v rámci jak globálního oteplování a dopadů na planetu, tak i dopadů na člověka, kde zejména ve městech má velké množství dopravních prostředků značný dopad na lidské zdraví. Postupné zhoršování kvality ovzduší vedlo ke změně v přístupu EU k automobilovému průmyslu, který musel vynaložit velké finanční prostředky na vývoj technologií, jež zajistí nižší emise vozů. Jedná se zejména o hybridní a elektrické pohony nebo vybavení spalovacích motorů filtry pevných částic. Jedna z dalších alternativ je vodík, který vyhovuje nárokům na moderní automobily. Vodíkový pohon sice zaujímá zanedbatelné postavení na automobilovém trhu, ale přesto je do něj investováno nemalé úsilí, a především velké množství finančních prostředků. S vodíkem lze tedy počítat do budoucna jako s palivem, které je slibné z pohledu nulových emisí a pokud bude vývoj dostatečně rychlý, dokáže zamíchat kartami v rozvoji dopravních prostředků.

Teoretická část práce se zaměřuje na základní aspekty vodíkového pohonu a jeho dopadu na kvalitu ovzduší. Kapitoly popisují vodíkový pohon, kvalitu ovzduší a podporu rozvoje vodíkové mobility.

Praktická část v návaznosti na teoretickou zahrnuje analýzu kvality ovzduší v Hodoníně, stejně jako dopravní infrastrukturu a provoz, což úzce souvisí právě s kvalitou ovzduší. Jsou využity metody pro podložení kapitol v praktické části a detailní rozbor vodíkových autobusů, jejich vliv na kvalitu ovzduší a samotné implementace ve městě Hodonín s ekonomickým shrnutím.

CÍL PRÁCE A POUŽITÉ METODY

Cílem diplomové práce je upozornit na možnost implementace vodíkových autobusů namísto dosavadních dieselových autobusů ve městě Hodonín. Jsou využity statistické metody SWOT, Ishikawa diagram a vícekritériální matice. Stávající autobusy ve městě Hodonín budou teoreticky nahrazeny autobusy na vodíkový pohon a bude provedeno zhodnocení jejich potenciálního vlivu na zlepšení kvality ovzduší, na udržitelný rozvoj v rámci přepravy a na ekonomiku provozu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SOUČASNÝ STAV VYUŽITÍ VODÍKOVÉHO POHONU V DOPRAVĚ

Tato kapitola se bude zabývat současným stavem vodíkového pohonu v městské hromadné dopravě. Primárně bude zaměřena na vodíkové autobusy označované jako FCEB. Dále bude porovnávat vývoj FCEB a jejich využití v ostatních státech světa. Poněvadž jsou současné celkové emise a znečištění z vozových parků globálně stále na vysokých hodnotách, je vhodné rozšířit skladbu vozových parků po celém světě a dát prostor nejen vozům na fosilní paliva, ale také alternativním zdrojům pohonu. Mezi ty se řadí např. elektrické vozy na baterie, které mají po spalovacích motorech nejvyšší zastoupení v rámci různých pohonů. Další alternativou mohou být elektrické vozy na palivové články, označované v angličtině jako FCEV (Fuel-Cell-Electric-Vehicle). Právě vodíkový pohon skýtá kromě úskalí vývoje značné benefity, mezi které patří nulové emise při provozu a má tedy schopnost významně ovlivnit dohody o snížení emisí, které jsou důležité ke zpomalení oteplování planety. Brát vodík jako palivo budoucnosti zní možná nerealisticky, ale zkušenosti ze zahraničí a aktuální vývoj v tomto odvětví mohou znamenat významnou změnu.

1.1 Využití vodíkového pohonu v České republice

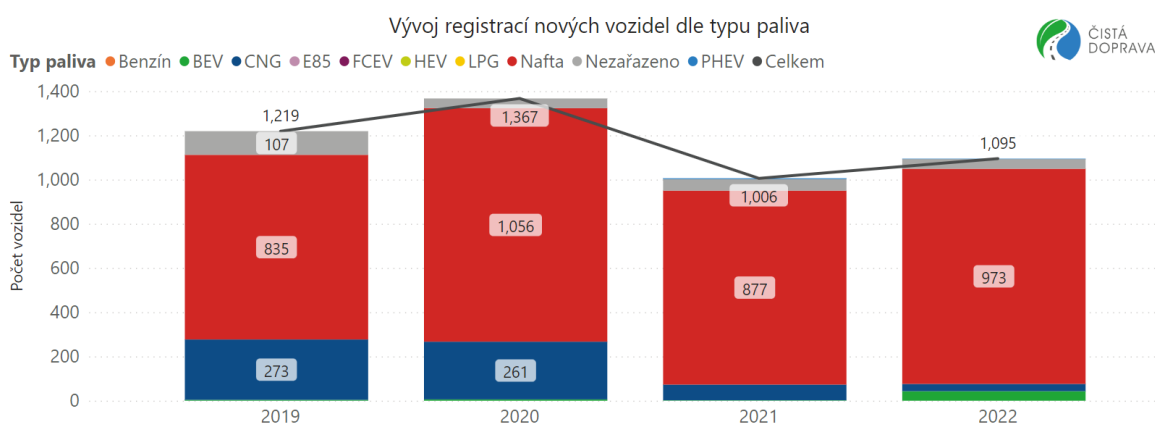
Česká republika nepatří mezi průkopníky vodíkových technologií, a při srovnání s okolními státy zaostává. Může za to několik faktorů, mezi které patří např. nedostatečná legislativa v rámci rozvoje vodíkové dopravy i nízká podpora ze strany státu. Dále také malý počet zájemců nebo lobbování za stávající konvenční pohony. Pokud nahlédneme za hranice, tak v současné době je nejlepší cesta zavádění vodíkových autobusů v městské hromadné dopravě ve specifických regionech a aglomeracích. Specifické jsou v tom, že jsou zde lepší podmínky pro provoz vodíkových autobusů než jinde. Tyto autobusy mají větší potenciál především v meziměstské a dálkové dopravě, jelikož disponují stabilnějším a vyšším dojezdem. Relativně vhodná jsou i větší města jako je Brno, kde se autobus pohybuje v blízkosti rozvinuté infrastruktury a má k dispozici plnicí stanice. Využití vodíkových autobusů v městské hromadné dopravě je řešení, které má nejvyšší přidanou hodnotou z pohledu poměru nákladů na technologie a ušetřených emisí (NAP CM, 2019).

Již v roce 2009 byl představen společností Škoda Group prototyp hybridního autobusu TriHyBus, který pracoval s technologií vodíkových palivových článků. V rámci podpory projektu Ministerstvem dopravy byla postavena plnicí stanice vodíku v Neratovicích, kde

autobus jezdil svoji linku. V současné době jsou vyvíjeny další aktivity, které naznačují posun směrem k většímu rozvoji v oblasti vodíku (NAP CM, 2019).

Mezi tyto aktivity patří například železniční projekt TO01000324. Cílem projektu je analyzovat železniční tratě v České republice a určit oblasti v kterých by byly vodíkové vlaky ekonomičtějším řešením s menším dopadem na životní prostředí oproti stávajícím vlakovým soupravám (UJV, 2022). Dále byl v roce 2022 představen nástupce vodíkového autobusu TriHyBus s názvem Škoda H'City. Autobus pojme až 85 cestujících a na jedno naplnění zvládne dojezd kolem 350 kilometrů. V roce 2023 čeká autobus testování, které proběhne v Praze, kde vznikla nová veřejná plnicí stanice od společnosti Orlen Unipetrol (březen 2023). Autobus bude provozovat Dopravní podnik hl. m. Prahy, který chce otestovat schopnosti vodíkového autobusu jak v letních, tak v zimních podmínkách. Bližší specifikace autobusu na obrázku č. 2 (Sochor, 2022).

Pokud se však podíváme na data poskytnuta nově zřízeným centrem dopravního výzkumu, tak data jasně prokazují, že v České republice převládají autobusy na dieselový pohon. Dále jsou zastoupeny i pohony na CNG nebo plug-in hybridní pohony. Na vodík žádné nově registrované autobusy nejsou. Lze však vzít v úvahu, že vodíkové prototypy jsou evidovány v rámci nezařazených pohonů, protože autobusů FCEV je registrováno nula (Čistá doprava, 2022).



Obrázek 1 Počet nově registrovaných autobusů (Čistá doprava, 2021)

ŠKODA GROUP CITY ON WHEELS

VODÍKOVÝ AUTOBUS ŠKODA H'CITY 12

Ekologické řešení budoucnosti

- | Řešení Škoda New Energy Vehicles
- | Tichá a čistá veřejná doprava
- | PEM palivové články a baterie
- | Vysoký komfort
- | Dojezd až do vzdálenosti 350 km
- | Modulární konstrukce
- | Rychlé doplnění paliva
- | Univerzální použití a řešení na míru
- | Nkládání vozu v zastávce – kneeling
- | Výkonná rampa pro výjezd invalidních vozíků
- | Antikoroziní úprava karosérie katarforózou

Základní koncept vodíkového autobusu

- | Palivový článek Ballard FC Move 70, maximální výkon 72 kW, minimální výkon 8 kW
- | Asynchronní motor Škoda s jmenovitým výkonem 160 kW
- | Volitelná možnost instalace synchronního motoru Škoda PMSM 160 kW
- | Trakční baterie Nano power LTO, 36 Ah, 22,9 kWh, chlazená vodou
- | Nabíjení baterie přes zásuvku CCS2, výkon 20-30 kW pro balancování baterií
- | Systém řízení teploty baterie
- | Systém monitorování izolace autobusu
- | Vodní chlazení pro výměnnou jednotku palivového článku Grayson
- | Válec Luxfer 39 kg H₂ / 350 bar (použitelné 37 kg H₂), v konfiguraci 5x 322 l
- | Sítelací jednotka Škoda RU 10, včetně měniče DC/DC
- | Vytápěcí jednotka pro interiér využívá odpadní teplo z palivového článku
- | Přidáván elektrické vytápění 25 kW
- | Klimatizace Valeo pro cestující i prostor řidiče
- | Bezpečnostní senzory a ventily umístěny i vně, na vácích a vodním chladičím systému
- | Typ H₂ podle ISO 14687:2019, třída D
- | Plnicí otvor v přední části pravé strany

HYDROGEN BUS ŠKODA H'CITY 12

The ecological solution of the future

- | Škoda New Energy Vehicle solution
- | Quiet and clean public transport
- | PEM fuel cells and batteries
- | High comfort
- | Range up to 350 km
- | Modular design
- | Fast refuelling
- | Universal use and customised solutions
- | Kneeling
- | Folding ramp for wheelchair access
- | Cataforitic anti-corrosion protection

Basic concept of hydrogen bus

- | Fuelcell Ballard FC Move 70, maximum power 72 kW, minimum power 8 kW
- | Asynchronous motor Škoda with nominal power 160 kW
- | Optional possibility to install Škoda synchronous PMSM motor 160 kW
- | Traction battery Nano power LTO, 36 Ah, 22,9 kWh, water cooled
- | Charging of battery via CCS2 socket, 20-30 kW power for balancing of batteries
- | Battery thermomanagement system
- | Bus insulation monitoring system
- | Water cooling for Grayson fuel cell exchange unit
- | Cylinders Luxfer 39 kg H₂ / 350 bar (usable 37 kg H₂), in configuration 5x 322 l
- | Škoda roof unit RU 10, included DC/DC converter
- | Heating unit for interior is using the waste heat from fuel cell
- | Additional electric heating unit 25 kW
- | Valeo air conditioning for passengers and drivers place
- | Safety sensors and valves in- and outside, on cylinders and water cooling system
- | H₂ type according to ISO 14687:2019, grade D
- | Filling point in the front part on the right side



Základní technické parametry

Délka	12 020 mm
Šířka	2 550 mm
Výška	3 430 mm
Počet míst k sezení	26-30 osob
Četkový počet cestujících	až 85
Prostor pro invalidní vozíky	2
Maximální rychlost	80 km/h
Dojezd až do	350 km
Maximální výkon motoru	160 kW
Váha	11 500-13 000 kg
Kapacita vodíkové nádrže	39 kg
Počet dveří	2-2-0, 2-2-2

Basic technical parameters

Length	12 020 mm
Width	2 550 mm
Height	3 430 mm
Seating capacity	26-30
Number of passengers	up to 85
Wheelchairs	2
Max. speed	80 km/h
Range up to	350 km
Motor power max.	160 kW
Weight	11 500-13 000 kg
Hydrogen storage capacity	39 kg
Doors	2-2-0, 2-2-2

Obrázek 2 Parametry autobusu Škoda H'City (Hytep, 2022)

1.1.1 Vodíková infrastruktura v ČR

Stěžejním bodem pro rozvoj vodíkové mobility v ČR je dostatečná infrastruktura. Jedná se o plnicí stanice, bez kterých není provoz autobusů ani jiných vozidel na palivové články možný. Zatímco dobíjecích stanic pro klasické elektromobily je již přes tisíc po celé ČR, stanic pro elektromobily s palivovými články existuje jen několik. Momentálně je tak velmi málo míst, kde si mohou řidiči vodík doplnit. Jedná se často o neveřejné plnicí stanice a není tedy možné si zde vodík jen tak doplnit. Jednalo se např. o stanici v Neratovicích, která spolupracuje s místním dopravním podnikem, ale především je určena pro výzkumné účely, nově je však stanice přístupná i pro komerční tankování vozidel. Dle dostupných zdrojů z Centra dopravního výzkumu (MŽP, 2022) je v ČR registrováno 11 FCEV, jedná se např. o vozy Toyota Mirai nebo Hyundai NEXO. Tyto vozy mohou tankovat jak na jedné z neveřejných plnicích stanic v rámci dohody, tak na veřejných stanicích v rámci jejich dosahu. Do budoucna jsou plánovány další vodíkové plnicí stanice např. v Brně. Nyní je však možnost doplnit si vodík v dojezdové vzdálenosti minimální (Hytep, 2022).

1.2 Využití vodíkového pohonu v USA

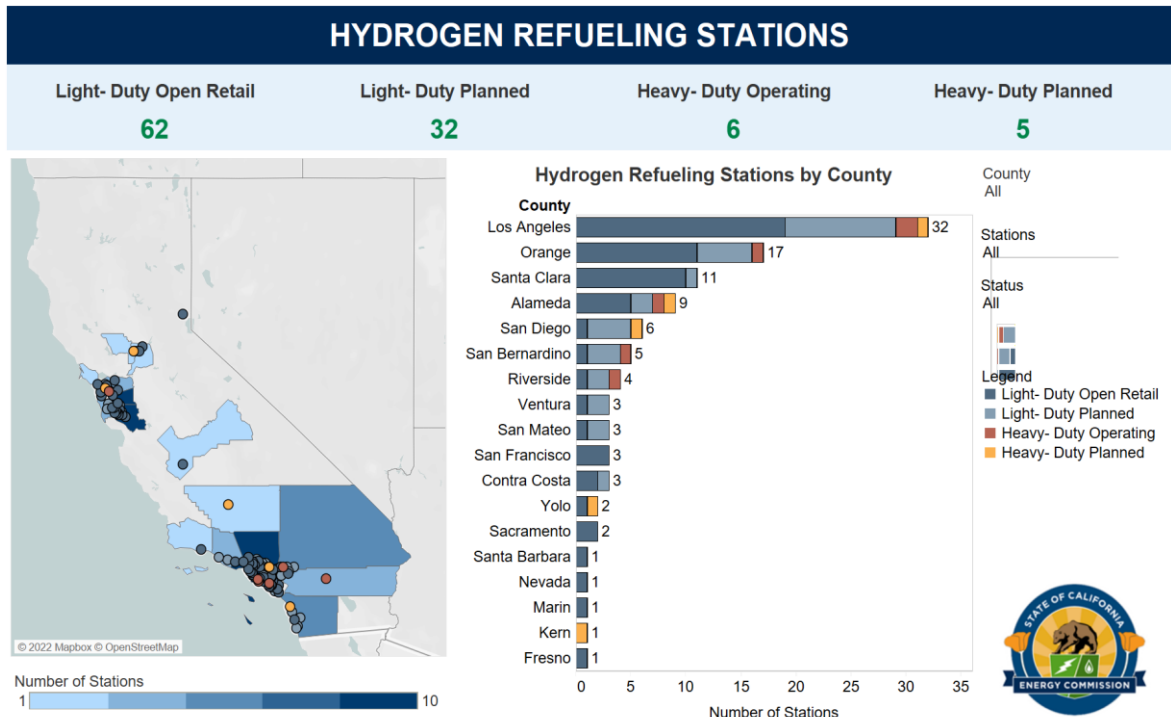
Jedním z významných center pro rozvoj vodíkové mobility je USA. Mezi hlavní zástupce zde patří především Kalifornie. Na základě dat od State of California Department of Motor Vehicles (2022) bylo v Kalifornii v roce 2021 registrováno 36 229 205 vozidel. Pro srovnání, v České republice bylo v tomtéž roce registrováno 6 129 874 vozidel (Ministerstvo dopravy ČR, 2021). S 39 miliony obyvatel je Kalifornie asi čtyři krát lidnatější a má šest krát více vozidel než Česko. Kalifornie byla také v posledních letech sužována silnými požáry, a tak vynaložila velké úsilí na boj s klimatem. Toto úsilí se dotklo i vodíkové mobility (MŽP, 2019). V současnosti čítá autobusový vozový park Kalifornie asi deset tisíc autobusů, z toho je 1160 bezemisních. Vodíkových autobusů je ve státě aktuálně 52, což je nejvíc ze všech států federace, viz. tabulka č. 1.

Tabulka 1 Bezemisní autobusy v USA (Reglobal, 2021)

Stát	Počet vodíkových autobusů (ks)	Celkový počet bezemisních autobusů (ks)
Alabama	1	4
Kalifornie	52	1 160
Havaj	1	35
Illinois	4	78
Massachusetts	1	28
Nevada	2	36
Michigan	2	22
Ohio	24	61
Celkový počet (ks)	87	1 424

V rámci autobusové dopravy plánuje Kalifornská vláda kompletní přechod na ZEB (Zero Emission Bus, tedy bezemisní autobusy) do roku 2040. V rámci transformace vozového parku plánuje vláda také zvýšit počet dobíjecích stanic pro BEV (Battery Electric Vehicle, bateriová elektrická vozidla) na 250 tisíc a vybudovat 200 vodíkových plnicích stanic do roku 2025. Dále pak do roku 2030 je dle plánu 5 milionů vozidel s nulovými emisemi na silnicích a 60% podíl výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů (Ku et al., 2021). Nyní Kalifornie provozuje asi 62 plnicích stanic (California Energy Commission, 2022).

Hlavním ukazatelem rozvoje jsou v tomto regionu podnikatelské subjekty hledající nové příležitosti pro své podnikání. Současně byly v minulosti realizovány investice ze strany California Energy Commission formou dotací ve výši 70–85 % proinvestovaných nákladů (MŽP, 2019).



Obrázek 3 Vodíkové plnicí stanice v Kalifornii (California Energy Commission, 2022)

Na obrázku č. 3. lze vidět množství plnicích vodíkových stanic a jejich rozmístění v rámci státu. Nejvíce jich je v Los Angeles, Orange nebo Santa Clara. Naopak žádné stanice nejsou v severní a východní části země, kde je nižší hustota zalidnění. V rámci dopravy jsou stanice rozděleny na Light-Duty (pro lehká užitková vozidla) a Heavy-Duty (pro těžká užitková vozidla). Light-Duty jsou stanice pro osobní automobily na vodík nebo pro lehčí užitková vozidla jako jsou dodávky. Heavy-duty jsou naopak plnicí stanice pro autobusy a těžké nákladní vozy. Rozdíl je jak v uzpůsobení stanice pro tankování, tak množství vodíku, které lze vyčerpat v rámci konkrétního časového intervalu, např za jeden den (California Energy Commission, 2022).

1.2.1 Provázanost vodíkové infrastruktury s energetickou infrastrukturou

Aby Kalifornie byla schopna dosáhnout stanovených cílů, bude muset akceptovat fakt, že zvyšující se podíl ZEB (Zero Emission Bus) bude mít vliv na energetický sektor. Energetická infrastruktura se bude muset vyvinout, aby byla schopna dodávat dostatečné množství čistého vodíku pro bezemisní dopravu. V současnosti pochází více než 95 % tamní produkce vodíku z SMR (parního reformingu metanu). Bude tedy potřeba v mnohem větším rozsahu používat alternativní metody výroby vodíku, které jsou ekologičtější. Patří sem přeměna

bioplynu, SMR se zachytáváním a ukládáním CO₂, nebo elektrolýza vody využívající elektřinu z bezuhlíkových zdrojů (Ku et al., 2021).

Ku (2021) ve své hypotéze tvrdí, že zvýšená podpora rozvoje čisté dopravy by mohla zapříčinit větší změny v energetické infrastruktuře, jelikož ZEB jezdí pouze na elektřinu a vodík.

1.3 Využití vodíkového pohonu v Číně

Mezi nejvýznamnější centra rozvoje vodíku patří i Asie. V technologicky vyspělých státech v čele s Japonskem, Jižní Koreou a Čínou, je vůdčí silou rozvoje vodíkových technologií průmyslový sektor. V oblasti vodíkové mobility jsou to jak automobilky Toyota a Hyundai, tak i rozvoj městské dopravy v Číně. Region je charakteristický již existující státní strategií rozvoje. Hlavní motivací pro rozvoj vodíkových technologií je zlepšování kvality ovzduší v městských oblastech, snižování emisí skleníkových plynů a zvýšení technologického pokroku v oblasti moderních technologií (NAP CM, 2019).

Jak již bylo zmíněno, mnoho světových měst zavedlo testování FCEB (vodíkových autobusů) do jejich flotil městské hromadné dopravy, aby otestovala využití vodíkového pohonu v dopravě, množství vypouštěných emisí a nákladnost provozu. FCEB jsou považovány za dlouhodobě provozuschopné s dodatečnými výhodami, jako je lepší energetická účinnost, méně znečištění či vypuštěných emisí, nízká hlučnost a menší zápach. Vodíkové pohony jsou vhodné zejména pro dlouhé cesty a těžká nákladní vozidla. Budou konkurenceschopné jako náhrada za konvenční a bateriová vozidla příštích dvou desetiletích (Zhang, 2020).

Podle Zhang (2020) je vodík velmi všestranný, lze ho totiž vyrábět, jak z fosilních paliv, tak z obnovitelných zdrojů a využít ho v mnoha odvětvích různými způsoby. Liu (2018) však dodává, že pokud jde o Čínu, autobus s palivovými články poháněný vodíkem získaným ze zemního plynu nebo uhlí, by dosáhl o 33 % vyšší spotřeby fosilních paliv a o 16 % vyšších emisí skleníkových plynů než autobus s naftovým motorem. Pokud by se tedy používaly neúčinné způsoby výroby vodíku, FCEB by mohly nerealizovat slíbené přínosy v oblasti emisí skleníkových plynů.

Vodík se dá tedy vyrábět z ropy, uhlí nebo zemního plynu, ale i biomasa a voda mohou být použity jako primární zdroje pro výrobu, a to vše prostřednictvím konvenčních metod.

Mezi nové metody patří např. zpracování vodíku v rámci čištění odpadních vod nebo fotolýza řas (Zhang, 2020).

Liu (2018) vidí v rámci Číny problém hlavně v její energetické infrastruktuře. Přesto, že by se emise snížily v rámci využití vodíkových autobusů v městské hromadné dopravě. Čínská energetická infrastruktura je postavena na výrobě elektřiny ze spalování uhlí a reformingu zemního plynu, tzn. že FCEV a FCEB v Číně by byly poháněny pouze z těchto zdrojů a měly by horší čísla v rámci emisí než běžné spalovací motory (ICEV) v roce 2020.

1.4 Využití vodíkového pohonu v Německu

Co se týče Německa, hraje velkou roli Pařížská dohoda o klimatu, jejímž cílem je omezit nárůst teploty nad 1,5 °C proti období před industrializací (MŽP, 2019). Hua et al. (2014) tvrdí že mezi hlavní bariéry zavedení FCEB do provozu patří dostupnost a přístup k vodíku, životnost palivových článků, velké vstupní náklady nebo cena vodíku jako takového. Německo je v otázce pomoci rozvoje nejaktivnější a k podpoře vodíkové mobility přistupuje zejména prostřednictvím propracovaných vládních strategií. Německá vláda rovněž vydává nemalé prostředky na podporu vodíkových technologií. V letech 2017–2026 se kalkuluje s investicemi v hodnotě 1,35 mld. EUR. V rámci celé EU je klíčové vytvořit společný postup a strategii rozvoje, pro fungování celého systému provázanosti infrastruktury (MŽP, 2019).

Projekt "H2-Bus Rhein-Main" je jedním ze tří německých projektů v rámci evropské iniciativy JIVE (Společná iniciativa pro vodíková vozidla v Evropě) financované prostřednictvím FCH-JU. JIVE má za cíl pokročit v komercializaci palivových článků skrze rozsáhlé nasazení vodíkových autobusů a infrastruktury tak, aby po ukončení projektu byly autobusy na palivové články pro provozovatele komerčně udržitelné a dopravci je mohli zařazovat do svých flotil, aniž by byla potřeba dotace nebo dodatečné financování od lokálních samospráv. Tento způsob by poté umožnil v Německu rozšíření bezemisních autobusů v mnohem větším měřítku (Coleman et al. 2020).

Je však nutno podotknout, že Německo obecně cílí svoje energetické strategie na rozvoj obnovitelných zdrojů, a to především větrné elektrárny nebo fotovoltaiku. Je zde tedy mnohem menší ekologická stopa pro výrobu vodíku než třeba u Číny v předchozím bodě, která je závislá ve velkém měřítku na uhlí. Vodíkové autobusy v Německu by mohly jezdit s nulovými emisemi poměrně dříve a celý tento koncept zde dává smysl.

1.5 Shrnutí kapitoly

Úvodní kapitola se zaměřila na využití vodíkové mobility ve světě. Kapitola byla zaměřena na využití vodíkového pohonu v České republice, kde byla shrnuta současná situace. Dále

byly vybrány další 3 země, které se řadí mezi nejvyspělejší státy v rámci rozvoje vodíkové mobility. U všech států byla popsána situace, jak se aktuálně rozvíjí jejich vodíková mobilita a její propojenost s energetickou infrastrukturou. Analýza jednotlivých států se odvíjí od dostupnosti zdrojů. Většina vodíkových autobusů jezdí v rámci rozvojových projektů a nejsou registrovány v databázích vozidel. Jinde zase databáze vodíkových vozidel nejsou zcela dostupné. Nejdůležitější a nejúplnější jsou data z ČR díky nové online platformě Čistá doprava, a dostupnosti ostatních českých zdrojů.

2 VLIV VODÍKOVÉHO POHONU NA KVALITU OVZDUŠÍ

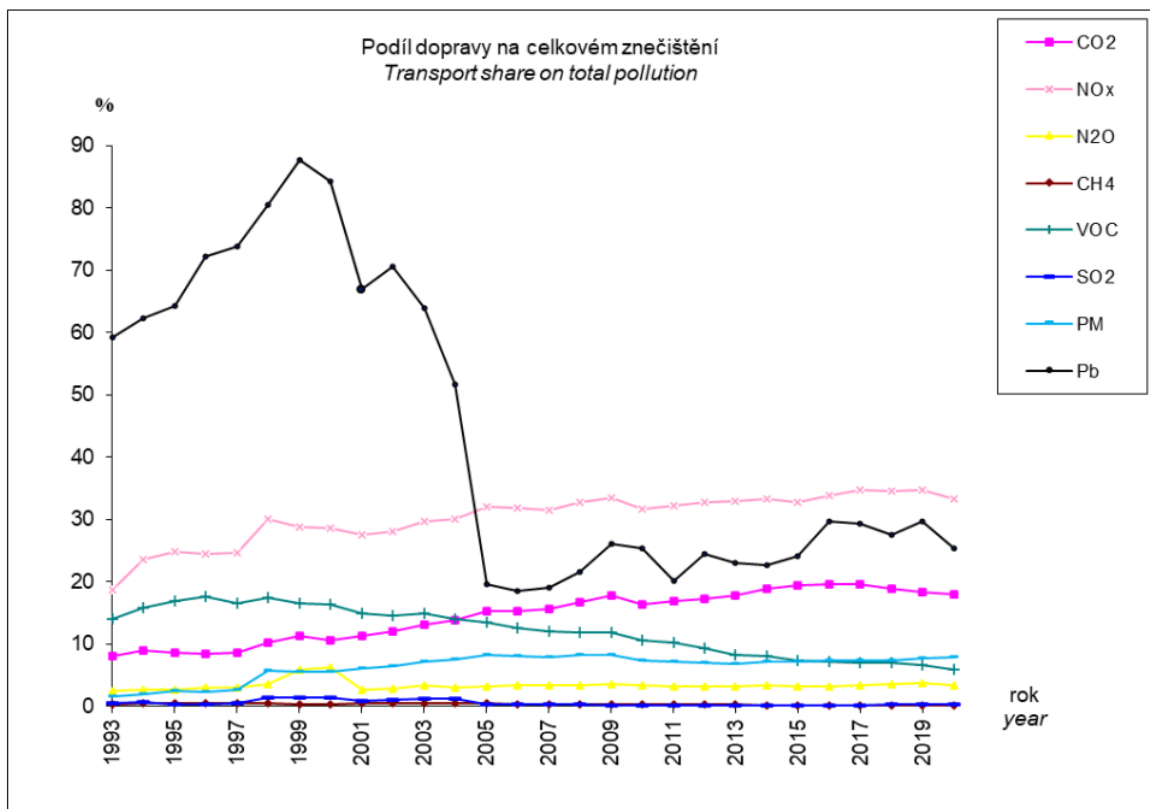
Vodík patří do kategorie alternativ v procesu přechodu na nízkoemisní, případně bezemisní ekonomiku. V rámci jeho schopnosti, jako klimaticky neutrální technologie, pomoci v celosvětovém úsilí snížit emise je předpoklad v jeho uplatnění ve všech možných sektorech, jednak jako forma energetického nosiče, zejména pro sezonní akumulaci a také v odvětví mobility. Všechny jeho vlastnosti mají za výsledek zlepšení kvality ovzduší při jeho využití (Hytep.cz, 2023).

2.1 Míra znečištění ovzduší z dopravy v ČR

Dle aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility (MŽP, 2019) je sektor dopravy v ČR druhým největším zdrojem emisí skleníkových plynů. V letech 2000–2018 se průměrné emise CO₂ z dopravy zvýšily o 66 %. V rámci dopravy samotné emitují největší množství emisí CO₂ individuální automobilová doprava, následuje silniční nákladní doprava a poté silniční veřejná doprava. Další znečišťující látky emitovány v dopravě jsou pevné částice frakce PM_{2,5} a PM₁₀, dále také NO_x. Problém znečištění ze silniční dopravy se primárně týká měst a aglomerací, ale zahrnuje také menší prostranství s vysokou intenzitou dopravy. Důkazem dopravního znečištění je např. doprava v Praze, kde podíl silniční dopravy na celkových emisích PM_{2,5} byl téměř 50 % a na celkových emisích oxidů dusíku cca 75 %. Všechny druhy emisí z dopravy jsou přehledně zobrazeny v tabulce níže (MŽP, 2019).

Druh polutantu <i>Type of emission</i>	Rok/Year													
	1993	1995	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
CO ₂	8.01	8.54	10.52	15.21	16.33	16.92	17.26	17.83	18.95	19.39	19.62	19.63	18.79	18.36
CO	29.82	34.95	36.20	30.92	21.76	19.61	17.13	14.51	13.51	12.33	12.10	11.33	10.41	9.28
NO _x	18.69	24.75	28.50	31.96	31.60	32.25	32.82	32.99	33.29	32.81	33.85	34.72	34.59	34.76
N ₂ O	2.38	2.70	6.20	3.23	3.42	3.10	3.12	3.26	3.33	3.15	3.19	3.31	3.57	3.76
CH ₄	0.38	0.44	0.37	0.41	0.30	0.27	0.24	0.22	0.21	0.20	0.21	0.20	0.20	0.19
VOC	13.97	16.83	16.27	13.50	10.65	10.26	9.32	8.22	7.98	7.40	7.19	7.02	7.02	6.61
SO ₂	0.53	0.31	1.45	0.29	0.11	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14	0.17	0.18	0.22	0.27
PM	1.53	2.40	5.49	8.24	7.40	7.22	6.97	6.71	7.15	7.10	7.32	7.31	7.34	7.71
Pb	59.21	64.21	84.31	19.51	25.27	20.14	24.49	23.03	22.72	24.06	29.72	29.31	27.46	29.75

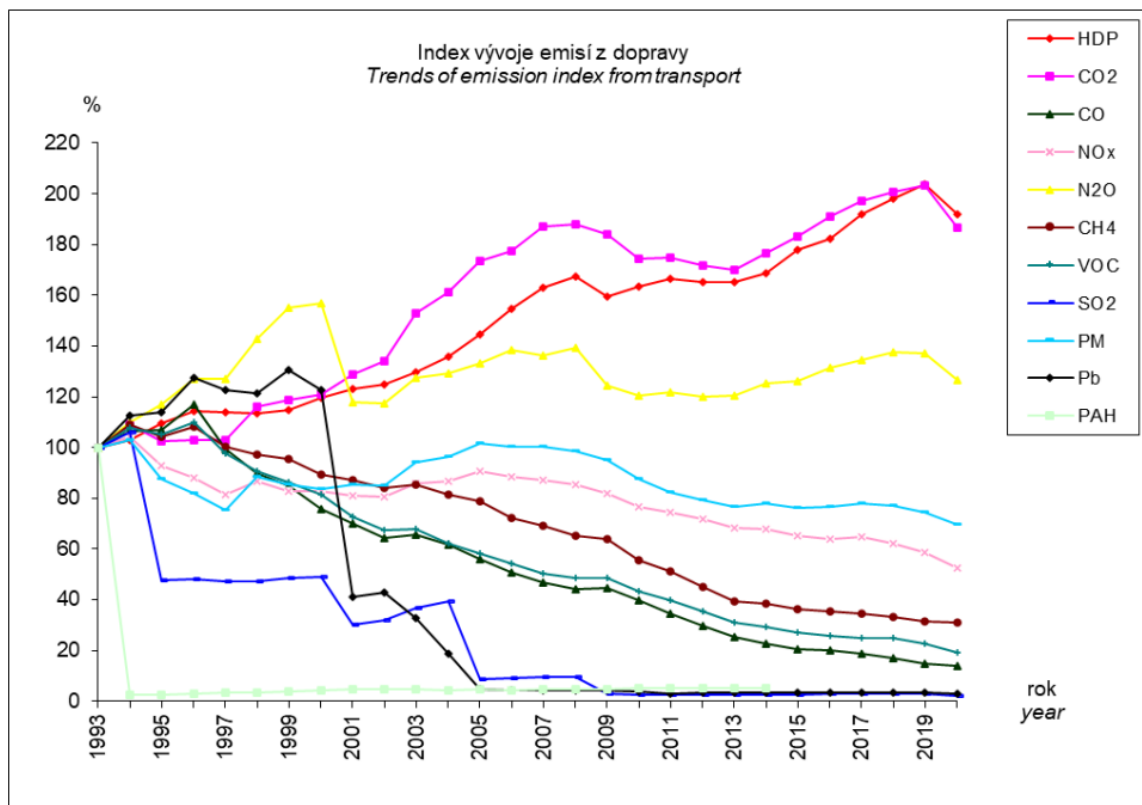
Obrázek 4 Podíl dopravy na celkovém znečištění ovzduší [%] (MŽP,2021)



Obrázek 5 Podíl dopravy na celkovém znečištění ovzduší [%] (MŽP, 2021)

Druh polutantu Type of emission	Rok/Year														
	1993	1995	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
HDP GDP	100	109.60	119.44	144.68	163.54	165.12	165.04	168.77	177.87	182.38	191.81	197.94	203.94	192.12	
CO ₂	100	102.27	120.92	173.53	174.58	171.55	170.06	176.46	183.37	191.18	197.27	200.51	203.19	186.82	
CO	100	106.65	75.74	55.92	39.55	29.61	25.16	22.66	20.34	20.00	18.71	17.14	14.85	13.87	
NO _x	100	92.95	82.81	90.47	76.49	71.80	68.13	67.77	65.42	63.70	64.92	62.08	58.47	52.27	
N ₂ O	100	116.99	156.85	133.27	120.41	120.19	120.49	125.08	126.00	131.55	134.53	137.56	137.27	126.53	
CH ₄	100	104.36	89.13	78.87	55.48	45.13	39.52	38.36	36.16	35.60	34.61	33.40	31.41	30.79	
VOC	100	104.98	81.47	58.06	43.26	35.31	30.80	29.39	27.14	25.74	25.04	24.93	22.67	19.21	
SO ₂	100	47.45	49.05	8.80	2.59	2.51	2.47	2.56	2.63	2.76	2.91	3.08	3.12	2.16	
PM	100	87.55	83.47	101.44	87.43	79.23	76.79	77.77	76.37	76.75	77.92	77.19	74.61	69.66	
Pb	100	113.77	122.78	4.56	3.75	3.46	3.34	3.32	3.17	3.26	3.28	3.34	3.40	2.72	
PAH	100	131.31	2.42	3.98	4.36	4.46	4.52	4.73	4.84	5.08	5.22	5.31	5.33	4.91	

Obrázek 6 Index vývoje emisí z dopravy [%] (MŽP, 2021)



Obrázek 7 Index vývoje emisí z dopravy [%] (MŽP, 2021)

Na grafu lze názorně vidět, jak rostou hodnoty vypuštěných emisí v ČR. Je patrný dlouhodobý nárůst CO₂ mezi lety 2013 až 2019, poté od roku 2019 dochází k mírnému poklesu těchto emisí. Hodnoty ostatních emisí dlouhodobě klesají.

2.2 Vodíkový pohon (FCEV)

Vliv vodíku na ovzduší je dvousečný. Jediným produktem, který FCEV (vodíkové vozy) v rámci spalovacích emisí vypouštějí je voda, která vychází z výfukového ústrojí, nebo je uskladňována ve voze a později je někde vypuštěna. Vodíkové autobusy emitují značné množství nespalovacích emisí v podobě prachových částic. Aktuálně se však většina vodíku vyrábí z fosilních paliv a znemožňuje brát vodík jako čistý. I když je zdroj pro výrobu vodíku neekologický, je to stále ekologičtější záležitost než běžné spalovací motory. I v otázce spotřeby ropy je dle dostupných informací výhodnější varianta vyrábět z ropy vodík než benzín pro spalovací motory. V tomto ohledu je i při výrobě vodíku z fosilních paliv dosaženo snížení množství emisí skleníkových plynů až o polovinu doprovázeno snížením spotřeby ropy v porovnání se spalovacím motorem (Zohuri, 2018).

Vodík vyráběný z vody, představuje nejkologičtější přístup k jeho výrobě. V budoucnu budou všechna vodíková auta užívat vodík za účelem výroby energie, přičemž jediným produktem tohoto procesu bude již zmíněná voda (Zohuri, 2018).

Tabulka 2 Silné a slabé stránky vodíku (Liu, 2018)

Silné stránky	Slabé stránky
1. Velké množství zdrojů pro výrobu vodíku	1. Vysoká cena
2. Udržitelný řetěz výroby vodíku	2. Distribuční infrastruktura
3. Velký rozvojový potenciál	3. Nedostatečně vyvinutá technologie
4. Snížení globálních emisí	
5. Pohodlné a rychlé tankování	
6. Emise, které nejsou škodlivé (voda)	
7. Bezpečná technologie	

2.3 Spalovací motory vs ostatní pohony v kategorii osobních vozidel

V rámci emisí z dopravy obsazují první příčky Spojené státy, kde je odvětví dopravy největším producentem oxidu uhličitého. Pro posouzení vlivu vodíkového pohonu na ovzduší je potřeba tento pohon postavit proti spalovacímu pohonu a porovnat rozdíly. Emise skleníkových plynů se běžně hodnotí pomocí analýzy životního cyklu (LCA), která je nezbytná pro hodnocení emisí skleníkových plynů spojených s různými technologiemi vozidel a paliv. Jedná se o kategorie fosilních paliv, biopaliv, elektrických vozidel s vodíkovými palivovými články (FCEV), hybridních elektrických vozidel (HEV), hybridních elektrických vozidel s nutností dobíjení (PHEVS) a bateriových elektrických vozidel (BEV). U benzinových vozidel (ICEV) využívajících současnou (2018) technologii se emise C2G (Cradle to Grave, od kolébky do hrobu) pohybují v rozmezí 450 g CO₂.km⁻¹, zatímco emise C2G u vozidel HEV, PHEV, FCEV a BEV se pohybují v rozmezí 300-350 g CO₂.km⁻¹. Lze očekávat, že budoucí zvýšení účinnosti vozidel sníží emise na 350 g CO₂.km⁻¹ u vozidel ICEV a 250 g CO₂.km⁻¹ u vozidel HEV, PHEV, FCEV a BEV. Využití nízkouhlíkových metod pro výrobu paliva přináší více jak dvojnásobné snížení emisí skleníkových plynů, oproti zvýšení efektivnosti vozidel (Elgowainy, 2018).

2.4 Vliv vodíkových těžkých užitkových prostředků na kvalitu ovzduší

Dle studie Národního akčního plánu čisté mobility (MŽP, 2019) zaměřené na vodík vyplývá, že u těžkých užitkových prostředků se nejlépe jeví podpora autobusové dopravy, a to

zejména v počáteční fázi. Existuje předpoklad, že z nákladového hlediska je to výrazně efektivnější, neboť 8 % z celkových nákladů potřebných na investiční podporu do vodíkových autobusů nese až 32% podíl na celkové úspoře emisí CO₂, vzniklým používáním vodíkových vozidel.

Liu (2018) ve své studii tvrdí, že spotřeba paliva FCEV je lineárně závislá na hmotnosti. Pokud se vzorec stanoví na vztah mezi kg-H₂/100 km a kg, s rostoucí hmotností vozu či nákladu se úspora paliva dramaticky zvyšuje, což je opačný trend než u vozidel s vnitřním spalováním. Na základě rozdílu mezi účinnostmi ICEV (vozy na fosilní paliva) a FCEV (vozy na palivové články) je v této studii nově definován trend spotřeby paliva nákladních vozidel s palivovými články, a tedy i množství spotřebovaného vodíku, který při ekologické výrobě nezatěžuje prostředí.

V rámci vztahu mezi FCEV a BEV je vodík šetrnější pro ovzduší, musíme však pominout způsob výroby elektřiny do baterií nebo palivových článků. U FCEV je vyšší nákladová a dobíjecí efektivnost. Dle dat je dobíjení bateriového nákladního vozidla na ultrarychlé rychlodobíjecí stanici cca 15krát pomalejší než při využití vodíku, který se pouze dotankuje do nádrže. Jedná se o podobný princip přirovnatelný k tankování na běžné čerpací stanici. Zároveň vodíková vozidla uvezou více nákladu, a navíc mají delší dojezd a efektivnost v rámci dopravy nad 100 km. Nutno však konstatovat, že aktuálně je technologie vodíkových nákladních vozů méně vyspělá než u osobních automobilů, a proto se předpokládá, krom autobusové dopravy, pozdější využití této technologie ve větším měřítku (např. soz odpadu) (NAP CM, 2019).

2.5 Způsoby výroby vodíku

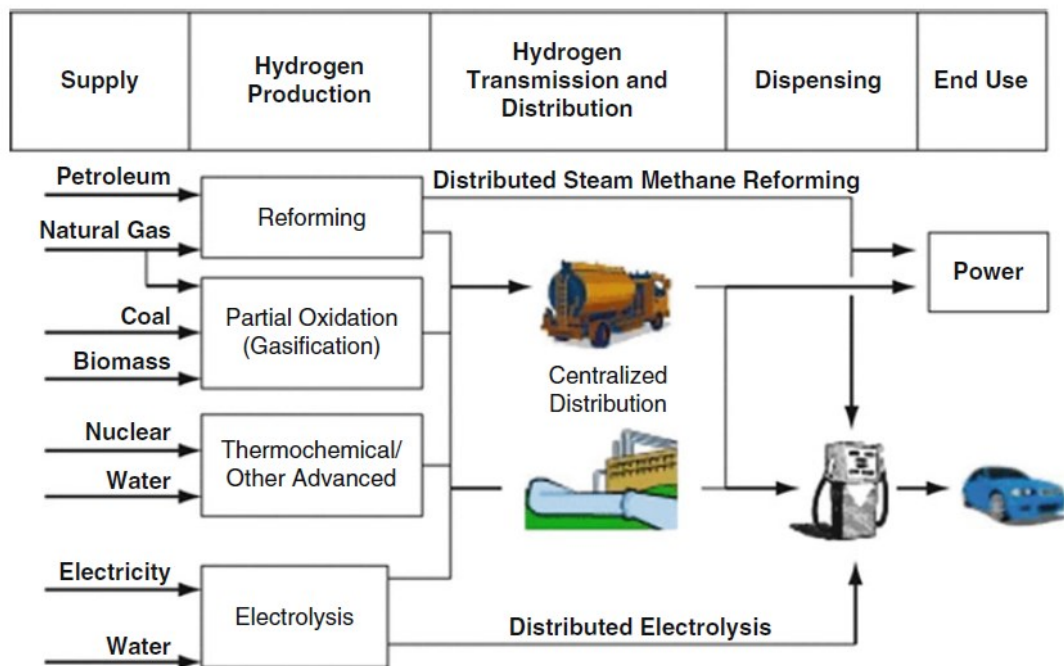
Vodík se v přírodě běžně nevyskytuje, lze jej použít k ukládání nebo získávání energie z fosilních paliv a obnovitelných zdrojů, kde přitahuje velkou pozornost jako neznečišťující nosič energie díky svým různým metodám výroby (Sankir, 2018).

Vodík v molekulární formě lze vyrábět z mnoha různých zdrojů a mnoha různými způsoby:

- reformace fosilních uhlovodíků a bio derivátů kapalin
- zplyňování uhlí a jiných uhlovodíků
- elektrolýza vody (nejekologičtější metoda)
- zplyňování a pyrolýza biomasy

- biologická výroba
- cesty související s jadernou energií
- fotoelektrochemické metody
- vysokoteplotní termochemické metody

Pro průmyslové účely se však vodík nejčastěji vyrábí pomocí parního reformingu zemního plynu a z uhlovodíků v ropě. Dále se vyrábí také prostřednictvím elektrolýzy vody, což je nejjistší možná cesta jeho výroby, a také jako vedlejší produkt při výrobě některých průmyslových procesů, mezi které se řadí výroba chloru a alkalických hydroxidů (Lipman, 2019).



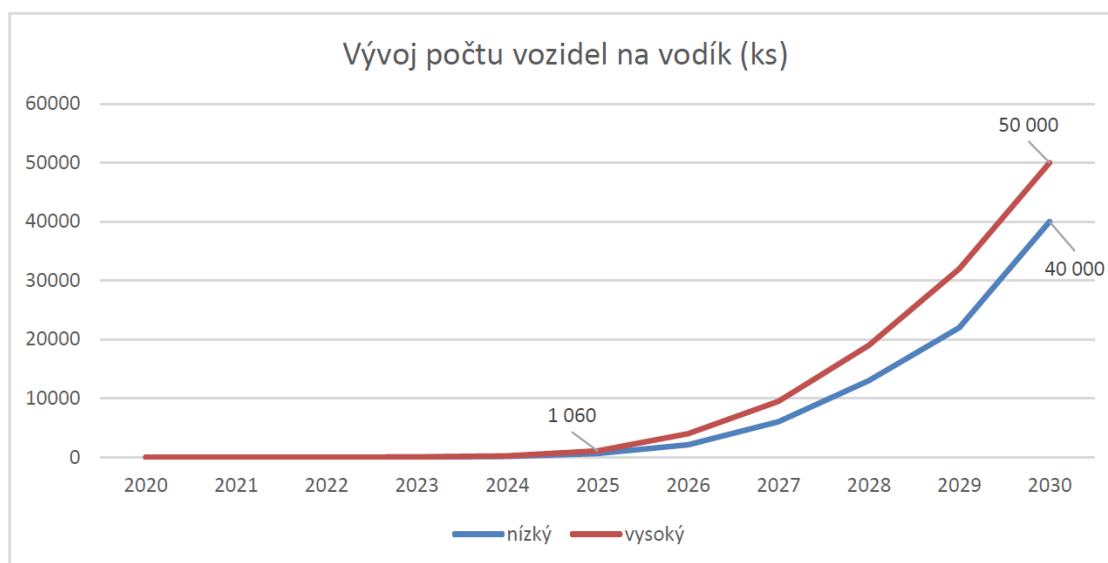
Obrázek 8 Přehledné zobrazení metod výroby vodíku (Lipman, 2019)

2.6 Shrnutí kapitoly

V druhé kapitole se práce soustředí na vliv vodíkového pohonu na kvalitu ovzduší, se zaměřením nejen na pohon, ale i na vodík samotný. Jedinou emisí, kterou FCEV vypouštějí, je voda odtékající z výfuku nebo ze speciálního systému pro zadržování a vypouštění vody. V rámci vlivu na kvalitu ovzduší je stěžejní způsob, jakým je vodík vyroben. Podstatná část kapitoly se věnuje způsobům výroby vodíku a naznačení, která metoda výroby je nejvhodnější pro co nejekologičtější provoz FCEV.

3 SOUČASNÁ OPATŘENÍ PŘIJÍMÁNA K PODPOŘE ROZŠÍŘENÍ VODÍKOVÉ MOBILITY V ČR

Rozšíření vodíkové mobility je stěžejní ke snižování emisí a plnění závazků Evropské unie. Klíčová je zejména podpora infrastruktury, rozvoje vodíkových technologií, snižování nákladů na výrobu a provoz FCEV. Lze očekávat významnou podporu z fondů EU nebo národních zdrojů financování. Předpokládá se investování i z Modernizačního fondu ČR (MŽP, 2019). Predikce rozvoje mobility počítá s masivním nárůstem FCEV do roku 2030.



Obrázek 9 Predikce počtu FCEV v ČR do roku 2030 (MŽP, 2019)

Analýza Národního akčního plánu čisté mobility (MŽP, 2019) udává, že lze předpokládat růst ceny běžných vozidel s konvenčním pohonem (ICEV) z důvodů implementace restriktivní legislativy EU, a tedy i rostoucích požadavků na snižování množství škodlivých emisí na životní prostředí. Predikce je založena na postupném snižování ceny vodíkových vozidel, např. s pomocí masové produkce či optimalizace fixních nákladů. S pomocí těchto předpokladů byl vytvořen model vývoje, který je na obrázku č.9. Čísla jsou spíše optimistická a s pomocí snižující se cenové propasti nejsou nereálná. Zatímco v roce 2020 se cenový rozdíl pohyboval v rámci jednoho vozidla kolem 700 tisíc až jednoho milionu Kč, kde např. cena Toyoty Mirai činila rovných 1 700 tisíc Kč (Toyota, 2023), v rámci dolní hranice ceny (700 tisíc Kč) by to v roce 2025 mohlo být až o 300 tisíc Kč méně, tedy 400 tisíc Kč. V případě Toyoty Mirai by tedy cena klesla na 1 300 tisíc Kč. V roce 2030 by dle posouzení měl tento rozdíl představovat pouze 84 tisíc Kč. To dostatečně vysvětluje fakt,

proč je ve vymodelované predikci takový velký nárůst osobních vodíkových vozidel v letech 2025 až 2030. V současnosti však nutno uvést, že trend je spíše opačný a v důsledku inflačních tlaků se cena modelu Mirai vyšplhala na 1 809 tisíc Kč. To stejné však platí pro všechny typy pohonů a zdražování je v tomto případě plošné.

3.1 Podpora rozvoje vodíkových autobusů

V předchozí kapitole bylo již uvedeno, že nejvhodnějším východiskem pro počáteční rozvoj by byla podpora vodíkové autobusové dopravy. Proto by z tohoto hlediska měla podpora rozvoje v této oblasti představovat klíčovou prioritu celkové strategie ČR v rámci posunu k vodíkové mobilitě. Podle Národního akčního plánu čisté mobility (MŽP, 2019) je v této oblasti cíl provozovat 95 vodíkových autobusů do roku 2025 a 870 vodíkových autobusů do roku 2030. Klíčová je zde, stejně jako u osobních vodíkových automobilů, rozdílová cena při pořizování vozidla. V roce 2020 se pohyboval rozdíl kolem 6 mil. Kč při koupi vodíkového autobusu na místo běžnějšího diesellového. V roce 2025 se předpokládá, že se rozdíl sníží na 3,6 mil Kč a bude klesat ke 2 mil. Kč v roce 2030. Počítá se taktéž, že cenová hladina běžných autobusů nebude klesat, ale spíše stoupat v rámci restrikcí pro spalovací motory, stejně tak jako se s tím počítá u osobních vozů.

V rámci nákladní dopravy se rozvoj proti vodíkovým autobusům značně prodlouží z důvodu nižší návratnosti a obtížné implementace do běžného provozu. Bez promyšlené infrastruktury to zatím nemá větší smysl. V současné době navíc nejsou vytvořeny žádné specifické dotace či finanční zvýhodnění zaměřené přímo na vodíkovou nákladní dopravu (MŽP, 2019).

3.2 Podpora vodíkové infrastruktury

Rozvoj a podpora vodíkové infrastruktury je nezbytnou součástí pro dosažení stanovených počtů vozidel. Prioritou jsou vodíkové plnicí stanice. Zde se jedná o značné investice, kterých bude potřeba mnoho k pokrytí aspoň základních tras jak pro autobusy, tak pro ostatní FCEV. Další větší zásah do infrastruktury je parkování. V rámci FCEV bude nutno vyřešit bezpečné parkování těchto vozidel v garážích. Jednalo by se o podobný režim jako je navrhován pro vozidla na zemní plyn (odvětrávání a čidla úniku plynu). Jedna z konkurenčních výhod pro autobusy spočívá v menším počtu potřebných plnicích stanic, na rozdíl od osobních vozidel. Plánovaný počet stanice je stanoven na optimálních 80 v roce 2030. Plán se odvíjí od predikce počtu FCEV, která je na obrázku č. 9. Zároveň je na tomto plánu postaven odhad finanční náročnosti rozvoje infrastruktury a podpory mobility.

V případě osobních vodíkových automobilů se suma do roku 2030 odhaduje na 28 mld. Kč, a to v kombinaci veřejných i soukromých subjektů. Do rozvoje autobusové dopravy by mělo být zafinancováno kolem 2,4 mld. Kč (MŽP, 2019). Jedním ze základních pilířů, kde lze protlačit vodíková vozidla jsou města a obce. Právě zde plánuje začít Ministerstvo životního prostředí, které podpoří ekologickou dopravu rekordními 600 miliony korun z Národního plánu obnovy do konce roku 2023 (MŽP, 2022).

3.3 Podpora rozvoje vodíkové mobility v Číně

Pro srovnání rozvoje vodíkové mobility v ČR je nutno srovnat rozvoj vodíků ve světě. Čína je jedna ze supervelmocí, která má schopnost adaptace a rozšíření vodíkové mobility ve velkém měřítku. Čína kromě propagace FCEV vydala na úrovni vlády i místní samosprávy na podporu rozvoje řadu opatření. Tato opatření poskytnou v rozvoji vodíkové mobility potřebnou základnu a odrážejí jasné cíle čínské vlády. Jedná se zejména o finanční podporu formou dotací, která pomůže různým sektorům rozvíjet nebo užívat vodíkové technologie. Stejně jako v ČR, největší pomoc v Číně tvoří finance (Liu, 2018). Nyní bude následovat přehled různých dotačních programů v rámci celé Číny.

Tabulka 3 Dotační programy v Číně (Liu, 2018)

Rok	Dotace (USD)	Cíl dotace
2009	FCEV = 36 387 FCEB = 87 330	Podpora demonstrací a propagace energeticky úsporných a nových energetických vozidel
2014	582 199	Oznámení o zadání zakázky na infrastrukturu pro nabíjení nových energetických vozidel, vodíková čerpací stanice
2015	Suma 29 106 na každé osobní vozidlo Suma 43 659 na každý lehký autobus nebo nákladní vozidlo Suma 72 765 na každý střední/těžký autobus nebo nákladní vozidlo	Finanční podpora pro nová energetická vozidla v Šen-čenu
2017	Vyrobena v Číně 2025 (plán), stovky tisíc dolarů	Podpůrná infrastruktura, jako je výroba vodíku a čerpací stanice do roku 2025

3.4 Legislativní nástroje

Evropská unie usiluje o snížení množství emisí s pomocí mnoha nástrojů. V červenci 2021 Evropská komise navrhla snížit limit pro emise z osobních automobilů a dodávek o dalších 15 % od roku 2025. Následně o 55 % pro osobní automobily a o 50 % pro dodávky do roku

2030. Chce tak dosáhnout nulových emisí do roku 2035. Země Evropské unie mají také stanovený nutný podíl alternativních zdrojů pohonu na celkové množství vozidel se spalovacím motorem (MŽP, 2019).

Velká města v Evropě mají mezi svými prioritami také politiku čisté městské dopravy, kdy hromadná osobní přeprava musí být alespoň z určité části na alternativní pohon. Občané si také připlatí za provozování starých neekologických vozidel takzvanou ekodaní. Hlavním nástrojem na cestě k čistějšímu ovzduší je například norma EURO, platná v zemích Evropské Unie, kterou musí výrobci automobilů splňovat a která se pravidelně zpřísňuje (Vlk, 2004).

Zákony upravující kvalitu ovzduší a rozvoj mobility:

- Zákon č. 695/2004 sb. - jedná se o zákon ze dne 9. prosince 2004, který se vztahuje k podmínkám obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů a o změně některých zákonů.
- Zákon č. 201/2015 sb. - ze dne 2. května 2012 o ochraně ovzduší.
- Úplné znění zákona č. 435/2006 Sb. - úplné znění zákona č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezení znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů (Zákony pro lidi, 2023).

České orgány pracují také na implementaci legislativní podpory pro rozvoj vodíkové mobility. Nárůstu počtu vodíkových autobusů napomůže jak již rozebíraná finanční podpora, tak i legislativní rámec. Dle směrnice 2009/33 o podpoře čistých vozidel je stanoven požadavek od zadavatelů zakázek, aby 50 % cílené podpory směřovalo na čistě bezemisní vozidla. Klíčové je také, aby vodíková osobní vozidla byla v budoucnosti nakupována orgány veřejné správy, což by mělo být zajištěno v rámci novely směrnice 2009/33 o podpoře čistých vozidel (MŽP, 2019).

3.5 Shrnutí kapitoly

Tato kapitola otevřela téma podpory rozvoje vodíkové mobility a shrnula jaké jsou podnikány kroky v ČR a v Číně k rozvoji této mobility. Byl vyzdvihnut nezbytný finanční rámec, který je dále podpořen legislativními opatřeními, která mají přímý či nepřímý vliv na rozvoj jak infrastruktury, tak na proces implementace vodíkového pohonu do reálného provozu.

4 DÍLČÍ ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část mé diplomové práce je členěna do tří kapitol, které na sebe přímo nenasazují, ale každá se zabývá důležitým tématem pro co nejlepší pochopení vodíkové mobility a vlivu na kvalitu ovzduší.

První kapitola se věnuje současnému stavu využití vodíkového pohonu v dopravě. Zaměřuje se na důležité aspekty vodíkového pohonu, popisuje a porovnává využití vodíkového pohonu jak v České republice, kde by byl výsledek práce teoreticky aplikován, tak i na jiné země jako např. Německo, USA nebo Čínu pro možnost srovnání a vytvoření si povědomí, jak může vodíkový pohon fungovat v praxi.

Druhá kapitola se soustředí na další primární bod diplomové práce, a to je kvalita ovzduší. V tomto ohledu má vodík nemalé benefity a jeho výhody pro lepší kvalitu ovzduší jsou značné. Práce se zde soustředí na výrobní metody vodíku a jeho vliv na kvalitu ovzduší, s cílem učinit práci co nejvíce přehlednou se snahou jasně vymezit benefity tohoto zdroje. Kapitola také obsahuje detailní zmapování stavu ovzduší v ČR a roli dopravy v celkovém znečištění ovzduší.

Třetí kapitola se zabývá problematikou rozvoje vodíkového pohonu. Zejména se soustředí na nutnost podpory rozvoje ze strany státu a nastiňuje, jak lze podporu uchopit pro efektivní implementaci vodíkového pohonu do hromadné a osobní dopravy.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

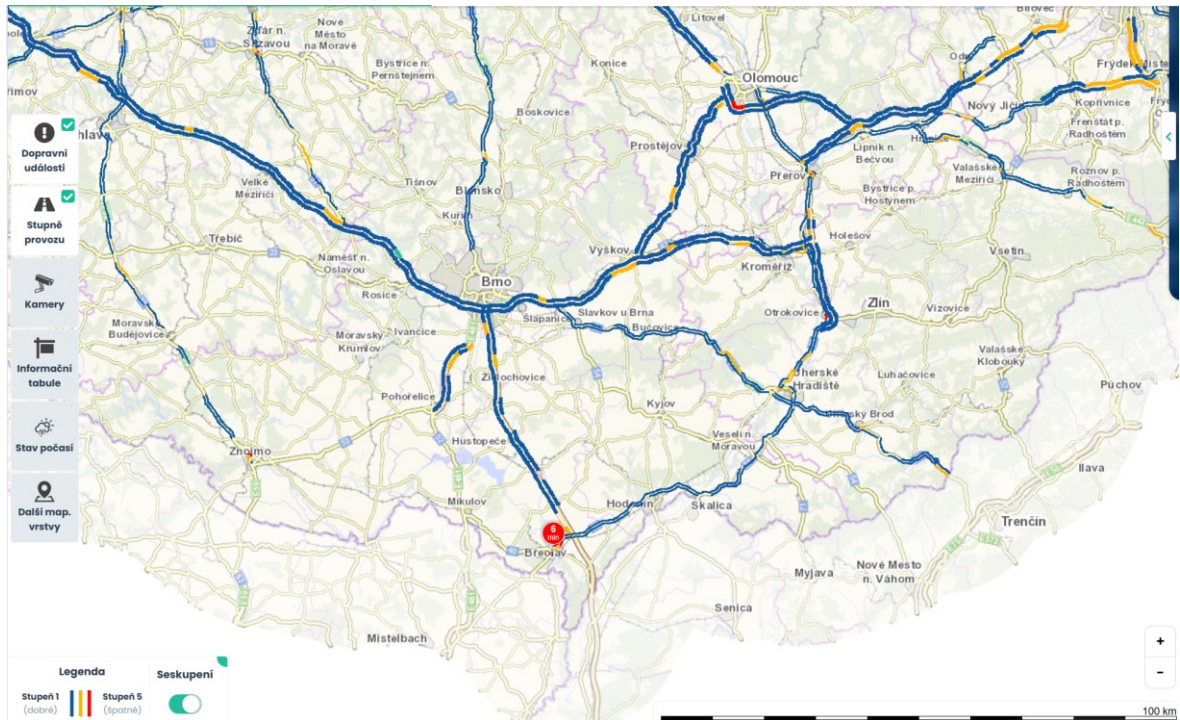
Primární část analýzy tvoří dopravní situace a její dopad na kvalitu ovzduší v Hodoníně a okolí. Případná náhrada současného vozového parku městské hromadné dopravy za autobusy na vodíkový pohon by přinesla zlepšení kvality ovzduší.

5.1 Město Hodonín

Město Hodonín leží v jihovýchodní části Jihomoravského kraje. Nejstarší zmínka o Hodoníně se datuje k roku 1046 našeho letopočtu, patří tedy k našim historicky významným městům. Ve městě se také v roce 1850 narodil Tomáš Garrigue Masaryk. Aktuálně zde žije přibližně 24 000 obyvatel. V těsné blízkosti města se nachází hranice mezi Českou republikou a Slovenskem. Město je centrem v daném regionu a má rozlohu 63,05 km². Hodonín je obec s rozšířenou působností (ORP) pro dalších 17 obcí, kde společně s občany Hodonína žije na 60 tisíc obyvatel (Výroční zpráva města Hodonín, 2020).

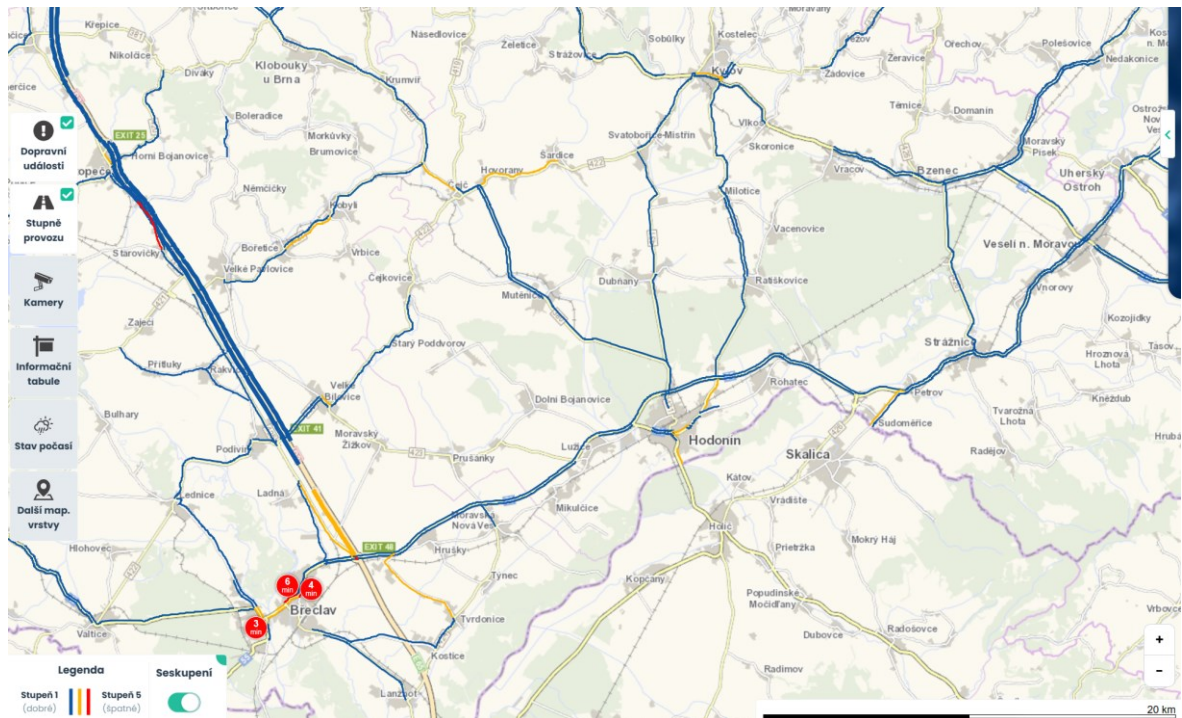
5.2 Dopravní situace

Jelikož stejně jako nedaleká Břeclav, město leží kousek od hranic se Slovenskem a Rakouskem, je zde větší nápor na dopravu v rámci silniční infrastruktury. Dochází také k nárůstu dopravních prostředků, což zhoršuje dopravní situaci ve městě, kde je dopravní infrastruktura limitována a nelze ji zlepšovat jednoduchými opatřeními, např. vybudováním více pruhů. Ve 24hodinovém intervalu je dopravní situace ve městě proměnlivá viz. obrázky č.10–14 a největší provoz se tvoří zejména v ranní špičce, kdy cestuje velké množství řidičů do práce a zase naopak kolem 15:00-17:00, kdy končí běžná pracovní doba.



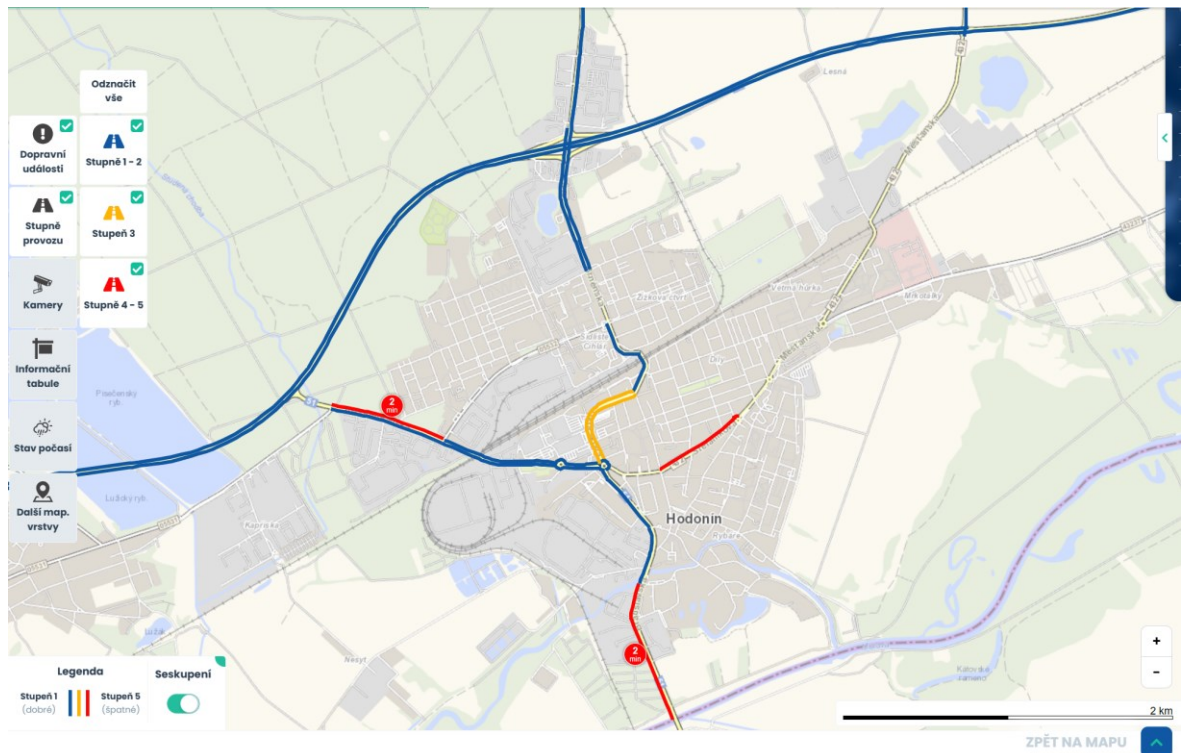
Obrázek 10 Stupeň provozu v JMK (Dopravníinfo, 2023)

Zde vidíme úroveň provozu v ranních hodinách. Platforma zobrazuje pět úrovní zátěžového provozu. Hodonín v tento čas patří do úrovně jedna až dvě, kdy dochází k mírnému zatížení, ale provoz je plynulý. Je patrné, že město patří v této úrovni do stejné kategorie jako Brno, kde vidíme na okruhu stejnou modrou barvu. Zatížení dopravní infrastruktury je tedy znatelné, ale provoz plynulý.



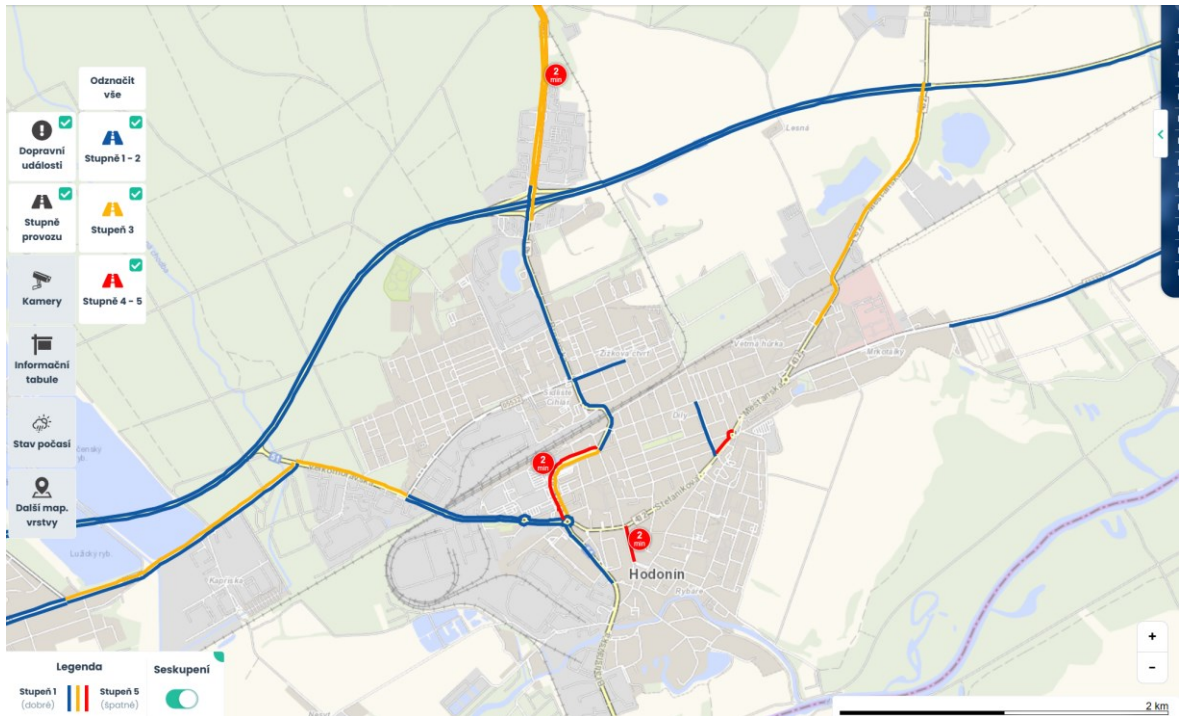
Obrázek 11 Trasa Hodonín – Břeclav (Dopravníinfo, 2023)

Trasa z Hodonína do Břeclavi patří k nejvíce zatěžovaným v rámci okolí Hodonína. Obě města mají okolo 25 tisíc obyvatel a jsou dále napojena na dálnici D1, která vede z Brna do Bratislavy.



Obrázek 12 Hodonín 20.2.2023 v 10:00 (Dopravniinfo, 2023)

Dopravní situace v ranních hodinách zobrazuje zatížení některých cest v Hodoníně. Zatížení spadá do úrovně tři a do úrovně čtyři a pět, což značí největší možné zatížení, kde dochází k většímu časovému zdržení.



Obrázek 13 Hodonín 20.2.2023 ve 12:00 (Dopravníinfo, 2023)

Dopravní situace v poledne značí, že se nejedná jen o trend v rámci ranní a odpolední špičky, nýbrž o nadměrné zatížení infrastruktury v rámci rozsáhlejšího časového úseku.



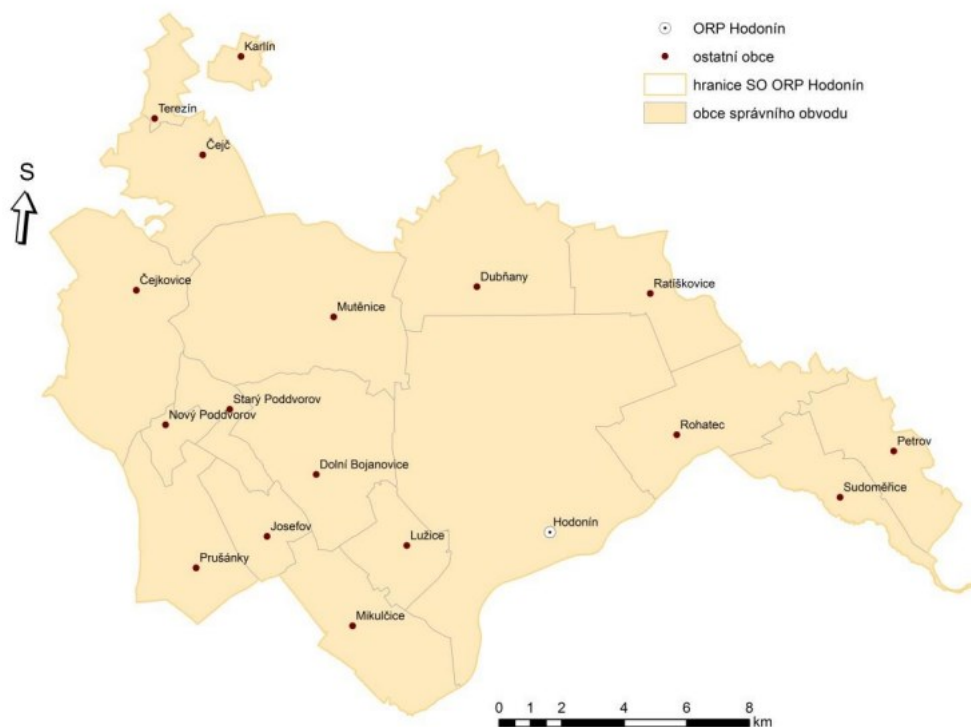
Obrázek 14 Hodonín 20.2.2023 v 16:00 (Dopravníinfo.cz)

V čase od 15:00 do 17:00 hod. dochází k největší kumulaci vozů na cestách. Dochází k většímu zdržení, nejvýrazněji v centru města, kde se střetává několik hlavních tahů z různých směrů.

5.3 Vozový park

V České republice je k letošnímu roku registrováno 17 483 245 vozidel. To je v přepočtu na počet obyvatel (10 527 000) přibližně 1,66 vozu na jednoho obyvatele. Se zaměřením pouze na osobní vozidla, kterých je po součtu všech kategorií (M1, M2, M3) 6 427 163 je výpočet pozměněn a vychází 0,61 vozidla na jednoho obyvatele. V rámci analýzy vozového parku se práce zaměří na osobní vozidla, která patří k největším znečišťovatelům ovzduší, za což může právě jejich vysoký počet k počtu obyvatel. Dalším významným znečišťovatelem ovzduší jsou nákladní vozy, které jsou na dopravních trasách ve stále narůstajícím počtu a mimo jiné značně omezují plynulost provozu. A posledním zahrnutým typem jsou autobusy, které slouží k přepravě osob a jsou předmětem stanoveného cíle práce.

V osobní dopravě je v rámci ORP (obec s rozšířenou působností) Hodonín zahrnuto i 17 přilehlých obcí: Čejč, Čejkovice, Dolní Bojanovice, Dubňany, Josefov, Karlín, Lužice, Mikulčice, Mutěnice, Nový Poddvorov, Petrov, Prušánky, Ratíškovice, Rohatec, Starý Poddvorov, Sudoměřice, Terežín. Tyto obce mají spolu s Hodonínem celkem 62 186 obyvatel. Při součtu všech registrovaných osobních vozidel, kterých je 32 890 kusů, se jedná téměř o polovinu počtu obyvatel. Pokud se vezme v úvahu reálnější hodnota vozidel, která jsou určena pouze pro osobní přepravu v rámci osob a nejsou určena jako pracovní vozidla, vychází číslo 24 674 kusů, což představuje více jak jednu třetinu obyvatel. Do počtu vozů nejsou počítány nákladní vozy, autobusy ani motocykly. U osobních vozidel je registr vozidel natolik detailní, že některé kategorie jsou naopak hůře rozlišitelné v rámci účelu vozidla či představy o podobě vozidla. Z detailního rozebrání vozového parku je patrné velké množství vozidel na jednoho obyvatele, což negativně ovlivňuje dopravní situaci a kvalitu ovzduší v Hodoníně.



Obrázek 15 Přehledná mapa ORP Hodonín (Smocr, 2021)

Na obrázku je přehledně znázorněn rozsah Hodonína (ORP) v rámci Jihomoravského kraje. Rozloha čítá 286 km².

Pro představu, co se týče nákladních vozidel registrovaných v rámci ORP Hodonín je celkový součet 4 330 kusů z více jak dvaceti různých kategorií těchto vozů. Nákladní vozidla mají významný podíl na znečišťování městského ovzduší v Hodoníně, zejména kategorie skříňového typu, která čítá 2 583 kusů.

5.3.1 Autobusy

Tabulka 4 Množství a rozdělení autobusů v ORP Hodonín 20.2.2023 (Registr vozidel, 2023)

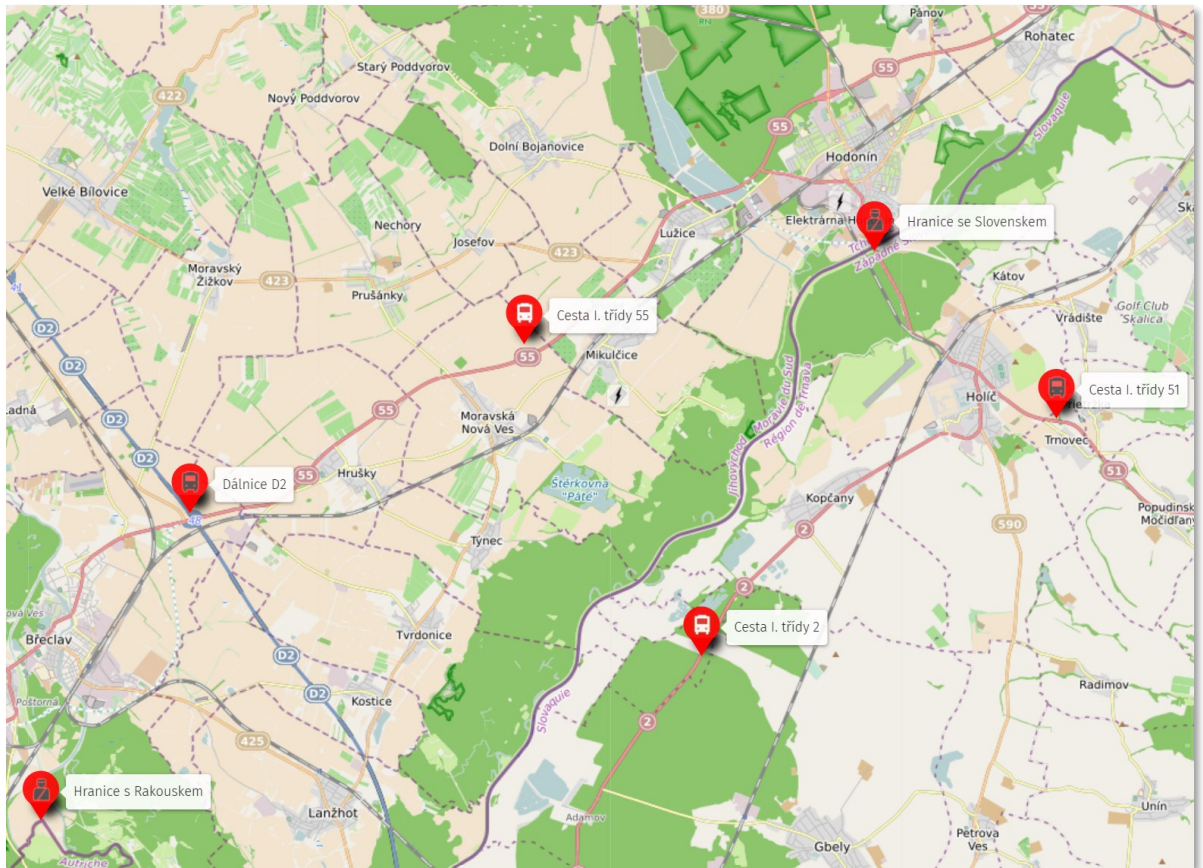
Číslo	Druh vozidla Druh vozidla 2. třídy. TP Bez rozlišení paliva Obec (ORP) Hodonín
1.	AUTOBUS NEUVEDENO Vše 17
2.	AUTOBUS JINÉ Vše 1
3.	AUTOBUS MEZIMĚSTSKÝ Vše 88
4.	AUTOBUS MĚSTSKÝ Vše 5
5.	AUTOBUS DÁLKOVÝ Vše 16
6.	AUTOBUS TRÍDA B Vše 2
Celkový počet autobusů = 129 Ks	
Nejvíce zastoupený = 88 Ks (meziměstské autobusy)	
Klíčové pro cíle práce = 5 Ks (MHD)	

Informace o autobusovém vozovém parku jsou klíčové k dalším částem této práce. Zde je největší zastoupení v kategorii meziměstských autobusů. Ve městě se pohybuje v rámci MHD 5 autobusů od společnosti ČSAD. Tyto autobusy by byly v případě realizace cíle diplomové práce nahrazeny vodíkovými autobusy pro zlepšení kvality ovzduší. Do budoucna by byla možnost počítat i s náhradou 88 meziměstských vozů. Jedná se však o různé společnosti, které jezdí po částech Jihomoravského kraje a v rámci jejich náhrady by bylo složitější implementovat potřebnou vodíkovou infrastrukturu pro všechny trasy.

5.4 Dopravní síť

Hodonín leží v oblasti rozvinuté dopravní infrastruktury a ke zvýšenému silničnímu provozu a následné zhoršené kvalitě ovzduší napomáhá několik faktorů. Jeden z důvodů je velikost a významnost Hodonína jako takového. Město sice není největší v regionu, ale stále patří k největším městům v JMK, a to se projevuje i na intenzitě provozu. Dále je Hodonín ORP kde, jak již bylo zmíněno se krom Hodonína nachází dalších 17 obcí. Tyto obce lze brát jako satelitní městečka, kde lidé z části pouze bydlí a za prací dojíždějí. Dalším faktorem je blízkost k hranicím a městu Břeclav. Lidé z těchto přilehlých obcí dojíždějí za prací jednak do Hodonína, často pak cestují do zahraničí za lepším platových ohodnocením a také mohou

pracovní dojíždět do Břeclavi. Všechny tyto vlivy hrají svoji roli v náporu na dopravu a kvalitu ovzduší v této ORP.



Obrázek 16 Provázanost dopravní infrastruktury v oblasti Hodonína (Umap, 2023)

6 SPOLEČNOST ČSAD HODONÍN

ČSAD Hodonín je společnost se sídlem v Hodoníně, která poskytuje širokou škálu služeb. Jedná se o služby spojené zejména s přepravou osob, zboží a materiálu. Tato společnost svoje služby primárně dělí na:

- Osobní doprava
- Nákladní doprava
- Celní služby
- Pronájem reklamních ploch
- Top Trans
- Servis DAF
- Kia Hodonín
- Citroen Hodonín
- Velkoobchod a maloobchod s pohonnými hmotami

Firma v rámci spolupráce s městem provozuje autobusovou přepravu v celém Hodoníně. Jedná se o pravidelné autobusové linky, které fungují celoročně dle svých jízdních řádů. Pro tyto služby ČSAD provozuje pět autobusů městské hromadné dopravy.

6.1 Typ autobusu Irisbus Crossway Low Entry 12M

Tabulka 5 Parametry autobusu 1 (ČSAD, 2023)

Irisbus Crossway Low Entry 12M	
Počet míst k sezení a stání	41-57, 28-44
Výkon motoru	220 Kw
EU norma (aktuálně EURO 6)	EURO 5
Délka, šířka, výška (mm)	11 995, 2 550, 3 145
Celková hmotnost (Kg)	18 700
Typ podvozku	Nízkopodlažní s nájezdovou plošinou

Irisbus Crossway 12M/12.8M je model meziměstského linkového autobusu, který je nástupcem vozů Karosa C 954, C 955 a C 956. Vyráběn byl v letech 2006 až 2014 v rámci koncernu Irisbus společností Iveco Czech Republic Vysoké Mýto (dříve Karosa). Model Crossway byl vyráběn v různých verzích jako např. verze Crossway LE 12M/12.8M/12.8M

ZTP vyráběná od roku 2007, která se lišila od vozu Irisbus Crossway 12M nízkopodlažní částí, která byla umístěna od předních dveří až po dveře zadní (Chour, 2014).



Obrázek 17 Irisbus Crossway LE 12 M (Autoline, 2023)

6.2 Typ autobusu Irisbus Crossway Low Entry 12,8M

Tabulka 6 Parametry autobusu 2 (ČSAD, 2023)

Irisbus Crossway Low Entry 12,8 M	
Počet míst k sezení a stání	41-57, 28-44
Výkon motoru	220 Kw
EU norma (aktuálně EURO 6)	EURO 5
Délka, šířka, výška (mm)	12 760, 2 550, 3 145
Celková hmotnost (Kg)	18 700 Kg
Typ podvozku	Nízkopodlažní s nájezdovou plošinou

6.3 Typ autobusu SOR CN 12

Tabulka 7 Parametry autobusu 3 (SOR, 2023)

SOR CN 12	
Počet míst k sezení a stání	42, 47
Výkon motoru	194 Kw
EU norma (aktuálně EURO 6)	EURO 4, 5
Délka, šířka, výška (mm)	11 790, 2 525, 2 950
Celková hmotnost (Kg)	16 500 Kg
Typ podvozku	Nízkopodlažní s nájezdovou plošinou

Modelová řada autobusu SOR CN 12 je městský a meziměstský nízkopodlažní autobus, který byl vyráběn od roku 2004 až do roku 2022 v různých úpravách. Jedná se již o zastaralý model, jak ze strany technologií, tak především motorizace, kde jsou splňovány normy Euro 4 a 5 oproti aktuální Euro 6. (SOR, 2009)



Obrázek 18 Autobus SOR CN 12 (ČSAD, 2023)

7 ANALÝZA KVALITY OVZDUŠÍ

Dopravní situace v Hodoníně je úzce spjata se situací kvality ovzduší v oblasti. Kvalita ovzduší je zde významně ovlivněna jak zdroji bodového, tak i velkým množstvím zdrojů mobilního znečištění.

7.1 Charakteristika ovzduší v Jihomoravském kraji

Jihomoravský kraj patří k největším krajům v ČR a Hodonín je jedno z největších měst, které se zde nachází. Z meteorologického hlediska se jedná v kontextu celé ČR o velmi teplou oblast. Vůči ostatním krajům má Jihomoravský kraj vyšší hustotu zalidnění. Faktor kvality ovzduší je v JMK ovlivněn lokálním vytápěním domácností, typickým pro menší obce. Kvalitu ovzduší ovlivňuje také zemědělství, které hraje v oblasti velkou roli a rovněž se suchem spojená eroze. Výrazně ovlivňuje kvalitu ovzduší již zmíněná doprava, a to především na území měst a v oblastech s výraznější intenzitou dopravy, např. v blízkosti dálnic. V oblasti Hodonína se jedná o dálnice D2, a především silnici první třídy 55. Ze strany Slovenska se jedná o silnici 51 (ČHMU, 2020).

7.2 Měřicí stanice ČHMU

V České republice se nachází řada měřících stanic, které se specializují na měření různých prvků obsažených v ovzduší. Klíčové pro tuto práci jsou měřicí stanice v Hodoníně a Mikulově-Sedleci. Stanice v Hodoníně neměří hodnoty všech standardně měřených prvků znečišťujících ovzduší, a proto v práci využíváme rovněž data z měřicí stanice umístěné v obci Sedlec, která poskytuje dodatečná data. Přesto, že stanice není umístěná v cílovém městě pro tuto práci, stále se jedná o oblast se stejnými meteorologickými podmínkami a lze tedy tato data alespoň ilustrativně využít pro nastínění hodnot ostatních prvků.

7.3 Imisní limity pro ochranu ovzduší

Imisní limity jsou definovány v zákoně o ochraně ovzduší (zákon 201/2012 Sb.) a podléhají ustanoveným limitům, které se však čas od času mění. Zejména se jedná o snížení povoleného imisního limitu v rámci novelizace zákona. Pokud se hovoří o imisním limitu, jedná se o nejvyšší přípustnou úroveň znečištění (průměr či maximum), která je vyjádřena jako hmotnost znečišťující látky na jednotku objemu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$, ng/m^3 apod.). Měření se provádí za podmínek standardního tlaku a teploty za daný časový úsek (1 h, 24 h, rok).

Tyto limity byly stanoveny za účelem ochrany lidského zdraví, ale také ekosystémů a vegetace (Pincity, 2022).

Tabulka 8 Imisní limity pro ochranu ovzduší (ČHMU, 2012)

Znečišťující látka	Doba průměrování	Limitní hodnota	Max. počet překročení
Suspendované částice PM10	Roční průměr	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	24h průměr	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35 x za rok
Suspendované částice PM2,5	Roční průměr	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Roční průměr	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Oxid dusičitý (NO ₂)	Hodinový průměr	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	18 x za rok
	Denní max. klouzavý 8h průměr	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 x za rok v tříletém průměru
Přízemní ozon (O ₃)	Denní max. klouzavý 8h průměr	10000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Roční průměr	1 ng/ m ³	
Benzo (a) pyren	Hodinový průměr	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	24 x za rok
	24h průměr	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3 x za rok
Oxid siřičitý (SO ₂)	Roční průměr	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Arzen (As)	Roční průměr	6 ng/ m ³	
Kadmium (Cd)	Roční průměr	5 ng/ m ³	
Nikl (Ni)	Roční průměr	20 ng/ m ³	
Olovo (Pb)	Roční průměr	500 ng/ m ³	
Oxid siřičitý (SO ₂)	Rok a zimní období (X-III)	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Oxidy dusíku (NO _x)	Roční průměr	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

Na základě těchto imisních limitů lze dále analyzovat následující tabulky, které obsahují výsledky a statistiky z měřicích stanic v Hodoníně a Mikulově-Sedleci. Na základě analýzy lze určit, zda u některých prvků dochází k dlouhodobému či krátkodobému překročení limitů.

7.3.1 Měřicí stanice Hodonín

Stanice je umístěna v areálu dětského domova v Jarošově ulici a je ze tří stran obklopena bytovou zástavbou a na západní stranu má průhled do parku (CHMU, 2022). V rozsahu měření stanice zaznamenává celou řadu prvků, z nichž je pouze několik vhodných pro cíle této práce. Mezi prvky, jejichž data lze využít, patří prachové částice PM10 a PM2,5, které se řadí k nespalovacím emisím se zdrojem ve všech silničních dopravních prostředcích.

Dále jsou potřeba naměřené hodnoty CO a NO_x. Tyto údaje však nejsou v Hodoníně k dispozici z důvodu chybějícího měření. Z měření lze také použít benzo(a)pyren, jež se řadí k polyaromatickým uhlovodíkům, které jsou měřeny v rámci emisních norem EURO viz. tabulka č. 22 (THC). Pro částečné zmapování chybějících dat ze stanice v Hodoníně bude použita stanice umístěna v oblasti Mikulov-Sedlec, která je nejbližší cílové lokalitě. Z této stanice jsou z požadovaných dat dostupné pouze hodnoty NO_x. Hodnoty CO nejsou k dispozici ze žádné stanice z okolí.

Tabulka 9 Data z měřicí stanice Hodonín z let 2019-2021 (CHMU, 2023)

Prvek	Jednotky	Rok	Roční průměr	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
PM10	μg/m ³	2019	22,020	24,890	31,110	17,790	30,158	14,770	24,310	20,290	18,480	15,740	28,080	21,210	18,444
		2020	19,034	29,910	11,890	24,470	24,799	13,450	17,160	18,180	19,280	16,390	12,770	23,630	16,375
		2021	14,661	15,280	27,920	18,850	12,528	7,846	12,710	12,150	9,476	9,360	16,520	16,170	15,802
PM2,5	μg/m ³	2019	14,879	21,810	26,070	14,160	18,590	9,145	12,690	9,946	10,040	7,609	18,970	15,930	14,578
		2020	11,948	25,290	8,165	15,320	12,757	6,747	8,115	7,403	10,090	8,868	8,114	19,040	13,942
		2021	10,375	12,910	23,260	14,140	8,019	4,251	6,327	6,249	4,680	5,397	10,780	13,190	13,934
BaP	ng/m ³	2019	0,511	1,385	1,365	0,575	0,342	0,155	0,097	0,059	0,035	0,110	0,432	0,534	1,087
		2020	0,358	0,925	0,453	0,479	0,389	0,093	0,035	0,020	0,033	0,065	0,335	0,677	0,789
		2021	0,506	1,142	1,082	1,075	0,229	0,131	0,091	0,022	0,036	0,114	0,552	0,489	1,109

Tabulka 10 Data z měřicí stanice Hodonín z let 2016-2018 (CHMU, 2023)

Prvek	Jednotky	Rok	Roční průměr	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
PM10	μg/m ³	2016	-1	35,949	21,218	26,935	22,085	16,875	18,019	17,167	14,563	23,329	21,387	-1	-1
		2017	24,189	48,484	45,688	25,343	19,697	17,076	15,947	15,542	19,957	18,783	-1	-1	20,819
		2018	23,399	25,493	40,509	34,774	17,822	15,835	17,764	-1	15,539	17,806	26,195	30,918	20,064
PM2,5	μg/m ³	2016	-1	33,016	16,829	23,723	16,611	11,93	10,579	9,749	8,78	16,174	16,965	-1	-1
		2017	18,036	43,905	40,792	19,524	14,742	10,901	7,819	7,862	10,326	11,36	-1	-1	17,628
		2018	16,819	21,613	35,563	29,327	9,077	8,741	10,985	-1	7,181	9,529	15,531	23,952	17,25
BaP	ng/m ³	2016	0,892	1,745	0,823	0,977	0,485	0,182	0,072	0,052	0,044	0,196	1,342	1,854	2,942
		2017	0,741	2,256	1,603	0,875	0,443	0,095	0,02	0,02	0,022	0,319	0,402	1,011	1,785
		2018	0,774	1,52	2,984	1,257	0,096	0,077	0,03	0,026	0,059	0,084	0,582	1,444	1,128

V tabulkách č. 9 a 10 jsou data z měřicí stanice v Hodoníně. V případě, kdy kvůli technickým výpadkům, servisům přístrojů, případně výměně celé měřicí stanice nebyla data v určitých měsících poskytována, nebo v případě, že dostupnost dat v kalendářním roce je nižší než 90 %, není možné podle tohoto kritéria relevantně hodnotit ani roční průměr. Proto je v těchto případech roční průměr udáván jako -1.

7.4 Měřicí stanice Mikulov – Sedlec

Stanice měří velké množství prvků jako jsou např. prvky NO_x, O₃, benzen, PM10, PM2,5 či SO₂. Z těchto prvků byla využita pouze data o oxidech dusíků, jelikož jsou měřena v rámci emisí dopravních prostředků a jsou tedy významná pro cíl této práce. Data z měření prachových částic jsou využita přímo z měřicí stanice v Hodoníně. Naměřené hodnoty ze stanice Mikulov-Sedlec jsou přesto pouze orientační a data nemohou být použita pro hlubší analýzu, jelikož nejsou přímo aplikovatelná na situaci v Hodoníně. Stanice Mikulov-Sedlec není od Hodonína příliš vzdálená, ale má jiné podmínky měření, neboť v Hodoníně je větší hustota zalidnění, hustší doprava, průmysl a jiné.

Tabulka 11 Obsah oxidů dusíku ze stanice Mikulov-Sedlec, roční průměr 2019-2021 (CHMU, 2023)

Prvek	Jednotky	Rok	Roční průměr
Oxidy dusíku (NO _x)	μg/m ³	2019	7,038
		2020	7,775
		2021	9,219

7.5 Souhrnné zhodnocení výsledků z měřících stanic Hodonín

Kvalita ovzduší v Hodoníně je hodnocena s pomocí dat ze stanice ČHMU Hodonín a stanice Mikulov–Sedlec. Zhodnocena jsou pouze data spojená se zaměřením práce. Jedná se primárně o prachové částice, jež patří k nespalovacím emisím a patří mezi primární emise z vodíkových dopravních prostředků.

Prach (PM10), který způsobuje dýchací potíže, dosahuje průměrné hodnoty za rok 2017 24,189 μg/m³ při limitu 40 μg/m³. V roce 2021 byla hodnota pouze 14,661 μg/m³ to je značné zlepšení, které značí možný trend ve snižování množství prachových částic. V datech za jednotlivé měsíce však vidíme, že se množství v jednotlivých měsících výrazně mění a někde se blíží k limitu 40 μg/m³, a to hlavně v zimních měsících. V posledních letech dochází meziročně ke zlepšení o více než 2 μg/m³. Problém s prachem je tedy především v

zimě, kdy jsou v provozu malá topeniště rodinných domů a také při inverzních situacích (jako např. v lednu 2017, kdy činila měsíční hodnota $48,484 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Proto je v rámci limitů dovoleno překročení $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ po dobu 35 dní v roce. Prach (PM_{2,5}) má limit pro průměrnou roční koncentraci $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a v roce 2017 bylo dosaženo hodnoty $18,036 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Meziročně došlo ke zlepšení o více než $1 \mu\text{g}$, jelikož v roce 2021 je hodnota na $10,375 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a opět dochází k viditelnému zlepšení situace.

Benzo(a)pyren dosahuje hodnoty kolem $0,872 \text{ ng}/\text{m}^3$ v roce 2016 a $0,774 \text{ ng}/\text{m}^3$ v roce 2018 při imisním limitu $1 \text{ ng}/\text{m}^3$. Při pohledu na jednotlivé měsíce je patrné překročení limitu v řadě z nich. V roce 2016 se jedná o měsíce leden, říjen, listopad a prosinec, kdy nejvyšší naměřená hodnota činila v prosinci $2,942 \text{ ng}/\text{m}^3$, což je téměř trojnásobek stanoveného limitu. V roce 2018 překračuje stanovený limit v pěti měsících, avšak roční průměrná hodnota je nižší.

Data ze stanice Mikulov-Sedlec, nelze brát jako směrodatná z důvodů rozdílných podmínek měření a nejsou tedy blíže analyzována.

8 VODÍKOVÉ AUTOBUSY PRO MHD HODONÍN

Tato část je zaměřena na technologii vodíkových autobusů, kde je prezentováno několik modelů vhodných pro MHD v Hodoníně. Jelikož dnes již existuje celá řada vodíkových autobusů od různých společností, které zpravidla tvoří velké automobilové koncerny, je možnost si vybírat dle preferencí specifického projektu. Vodíkový pohon je na vzestupu a jeho potenciál je zřetelný nejen pro vlády a státní orgány, ale hlavně pro samotné společnosti, které se snaží si ukousnout svůj tržní podíl na rostoucím trhu s vodíkem.

8.1 Vodíkový autobus Škoda H'CITY

Jedná se už o druhý koncept značky Škoda Group Plzeň, který je poháněn palivovými články. První model byl představen již v roce 2009, ale při testování většího úspěchu nedosáhl. Nový model Škoda H'CITY byl představen v roce 2022 a nyní bude ve finální fázi testován v Praze na Barrandově, kde je od 10.3.2023 nově otevřena, v Praze první veřejná vodíková stanice od společnosti Orlen. Podle zástupců společnosti se cena vozu pohybuje mezi 600 000 až 700 000 eury (zhruba 14,3 až 16,6 milionu Kč), to je kolem dvojnásobku ceny oproti diesellovému autobusu (České noviny, 2022).

Škoda GROUP CITY ON WHEELS

VODÍKOVÝ AUTOBUS ŠKODA H'CITY 12

EKOLOGICKÉ ŘEŠENÍ BUDOUCNOSTI

- | Řešení Škoda New Energy Vehicles
- | Tichá a čistá veřejná doprava
- | PEM palivové články a baterie
- | Vysoký komfort
- | Dojezd až do vzdálenosti 350 km
- | Modulární konstrukce
- | Rychlé doplnění paliva
- | Univerzální použití a řešení na míru
- | Naklánění vozu v zastávce – kneeling
- | Vyklopná rampa pro vjezd invalidních vozíků
- | Antikorozní úprava karoserie katalýzou

ZÁKLADNÍ KONCEPT VODÍKOVÉHO AUTOBUSU

- | Palivový článek Ballard FC Move 70, maximální výkon 72 kW, minimální výkon 8 kW
- | Asynchronní motor Škoda s jmenovitým výkonem 160 kW
- | Volitelná možnost instalace synchronního motoru Škoda PMSM 160 kW
- | Trakční baterie Nano power LTO, 36 Ah, 22,9 kWh, chlazená vodou
- | Nabíjení baterie přes zásuvku CCS2, výkon 20–30 kW pro balancování baterie
- | Systém řízení teploty baterie
- | Systém monitorování izolace autobusu
- | Vodní chlazení pro výměnnou jednotku palivového článku Grayson
- | Válce Luxfer 39 kg H₂ / 350 bar (použitelné 37 kg H₂), v konfiguraci 5x 322 l
- | Střešní jednotka Škoda RU 10, včetně měnice DC/DC
- | Vytápěcí jednotka pro interiér využívá odpadní teplo z palivového článku
- | Přídavná elektrická vytápění 25 kW
- | Klimatizace Valco pro cestující i prostor řidiče
- | Bezpečnostní senzory a ventily umístěny i vně, na válcích a vodním chladičích systému
- | Typ H₂ podle ISO 14687:2019, třída D
- | Plnicí otvor v přední části pravé strany

HYDROGEN BUSES

HYDROGEN BUS ŠKODA H'CITY 12

THE ECOLOGICAL SOLUTION OF THE FUTURE

- | Škoda New Energy Vehicle solution
- | Quiet and clean public transport
- | PEM fuel cells and batteries
- | High comfort
- | Range up to 350 km
- | Modular design
- | Fast refuelling
- | Universal use and customised solutions
- | Kneeling
- | Folding ramp for wheelchair access
- | Catalytic anti-corrosion protection

BASIC CONCEPT OF HYDROGEN BUS

- | Fuelcell Ballard FC Move 70, maximum power 72 kW, minimum power 8 kW
- | Asynchronous motor Škoda with nominal power 160 kW
- | Optional possibility to install Škoda synchronous PMSM motor 160 kW
- | Traction battery Nano power LTO, 36 Ah, 22,9 kWh, water cooled
- | Charging of battery via CCS2 socket, 20–30 kW power for ballancing of batteries
- | Battery thermomanagement system
- | Bus insulation monitoring system
- | Water cooling for Grayson fuel cell exchange unit
- | Cylinders Luxfer 39 kg H₂ / 350 bar (usable 37 kg H₂), in configuration 5x 322 l
- | Škoda roof unit RU 10, included DC/DC converter
- | Heating unit for interior is using the waste heat from fuel cell
- | Additional electric heating unit 25 kW
- | Valco air conditioning for passengers and drivers place
- | Safety sensors and valves in- and outside, on cylinders and water cooling system
- | H₂ type according to ISO 14687:2019, grade D
- | Filling point in the front part on the right side



ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY

Délka	12 020 mm
Šířka	2 550 mm
Výška	3 430 mm
Počet míst k sezení	26–30 osob
Capacita palivových článků	48 H ₂
Drusot pro invalidní vozíky	2
Maximální rychlost	80 km/h
Dojezd až do	350 km
Maximální výkon motoru	160 kW
Váha	11 500–13 000 kg
Kapacita vodíkové nádrže	39 kg
Počet dveří	2–2-0, 2–2-2

BASIC TECHNICAL PARAMETERS

Length	12 020 mm
Width	2 550 mm
Height	3 430 mm
Seating capacity	26–30
Number of passengers	up to 85
Wheelchairs	2
Max. speed	80 km/h
Range up to	350 km
Motor power max.	160 kW
Weight	11 500–13 000 kg
Hydrogen storage capacity	39 kg
Doors	2–2-0, 2–2-2

Obrázek 19 Vodíkový autobus Škoda H'CITY (České noviny, 2022)

8.2 Vodíkový autobus Caetano Bus

Caetano H2.City Gold je nový elektrobuses na vodíkový pohon. Jedná se o inovativní řešení, které zvyšuje ekonomické a ekologické výhody vodíku a směřuje k bezuhlíkové dopravě. H2.City Gold vyniká modulární konstrukcí, delším dojezdem, kapacitou, bezpečností a snadným používáním. Vznikl na základě spolupráce společnosti Toyota se společností Caetano (Caetanobus, 2023).



Obrázek 20 Vodíkový autobus Caetano H2. (Caetanobus, 2022)

8.3 Vodíkový autobus Elec City Fuel Cell

Tento nový typ vodíkového autobusu od společnosti Hyundai je vybaven vlastním systémem palivových článků o výkonu 180 kW, největší nádrží na vodík ve svém segmentu o kapacitě 845 litrů a úspornou baterií o kapacitě 78,4 kWh, tím je vhodný pro trasy s častými dopravními zdrženými, jízdu na dlouhé vzdálenosti nebo jízdu do kopce s vysokou spotřebou elektrické energie. Při jízdě konstantní rychlostí může vozidlo ujet až 474 km na jedno natankování v režimu Seoul. Rovněž byla zajištěna kvalita a posílena efektivita provozu díky použití nového centrálního motoru ZF (Hyundai, 2023).



Obrázek 21 Vodíkový autobus od společnosti Hyundai (Hyundai, 2023)

8.4 Vodíkový autobus A12 Fuel Cell

Další ze společností, která se specializuje na výrobu vodíkových autobusů je belgická společnost Van Hool, která představila v roce 2022 modely A12, A13 a A18. Jedná se o modely ve třech různých délkách (12 m, 13 m, 18 m), které jsou vybaveny výhradně pohonem s nulovými emisemi: bateriovým elektrickým pohonem a pohonem na palivové články. Touto novou řadou vozů společnost navazuje na předchozí zkušenosti s vývojem ZEB, které získala v oblasti autobusů pro veřejnou městskou a regionální dopravu (Van Hool, 2022).



Obrázek 22 Autobus A12 od společnosti Van Hool (Van Hool, 2022)

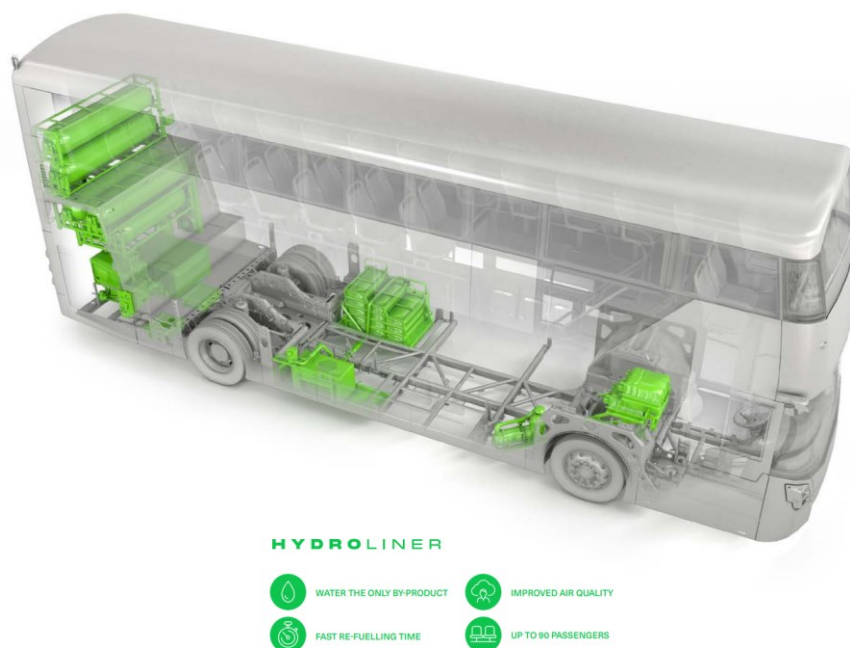
Seznam zakázek 2022-2023

- 67 Van Hool A13 battery-electric buses for Tide – Aalborg (DK)
- 36 Van Hool A13 battery-electric buses for De Lijn – Flanders (B)
- 19 Van Hool A12 battery-electric buses for leaseholders of De Lijn – Groep Waaslandia (B), De Decker – Van Riet (B), Parmentier (B)
- 2 Van Hool A12 fuel cell buses for FAHMA – Frankfurt (D)
- 4 Van Hool A12 fuel cell buses for Pau (F)
- 14 Van Hool A12 fuel cell buses for Réseau Astuce – Rouen (F)
- 7 Van Hool A12 fuel cell buses for SMTC90 – Belfort (F)
- 7 Van Hool A12 fuel cell buses for Lorient (F)
- 6 Van Hool A12 fuel cell buses for Eberswalde (D)

Ještě před datem výroby tohoto modelu, měla společnost nasmlouvaných řadu zakázek, jež jsou shrnuty výše. Zahrnují různé varianty ZEB, tedy bezemisních autobusů.

8.5 Wright Bus

Britská společnost představila svůj model vodíkového jednopodlažního autobusu v roce 2021. Kite Hydroliner, jednopodlažní autobus poháněný výhradně vodíkem. Očekávaná výroba měla začít počátkem roku 2022 a kromě rychlé doby doplňování paliva má tento autobus na vodíkový pohon další výhody. Kite má dojezd okolo 450 km a uveze až 90 cestujících, pokud počítáme i prostor pro stání. Autobus sdílí 86 % společných dílů s modelem Double Deck – StreetDeck Hydroliner FCEB. To znamená, že provozně poskytne značné výhody ve smyslu snížení nákladů na údržbu vozového parku (Wright Bus, 2022).



Obrázek 23 Dvoupodlažní verze autobusu Hydroliner (Wright Bus, 2022)

9 EMISE Z VODÍKOVÝCH AUTOBUSŮ (FCEB)

Vodíkové autobusy mají v rámci optimálních podmínek provozu vodíkového pohonu nulové emise oproti vozidlům se spalovacím motorem, které emitují celou řadu škodlivých prvků. Vodíkové autobusy ovšem tvoří emise mimo pohonnou jednotku. Patří sem emise z opotřebování kol, vozovky a brzdových destiček.

9.1 Emise pevných částic z pneumatik

Pneumatiky se nově zahrnují mezi zdroje enviromentálních problémů, což ovlivňuje jejich výrobu a spadají do problematiky kvality ovzduší a mikroplastů. Při jízdě automobilu nelze spatřit, jak se jeho pneumatiky opotřebávají, a proto opotřebení pneumatik v tomto smyslu zůstává nepostřehnutelné, s výjimkou použití např. v závodech formule jedna nebo driftování, kde dochází k extrémnímu opotřebením za velmi krátký čas a lze tento jev spatřit běžně okem. Souběžně potvrzuje významnost emisí mimo spalovací ústrojí i zpráva britské vlády která uvádí, že emise mimo výfukové plyny představují většinový zdroj primárních částic ze silniční dopravy, 60 % PM_{2,5} a 73 % PM₁₀ (Emissions Analytics, 2023).



Obrázek 24 Opotřebení pneumatik závodního vozu (Racefans, 2018)

Přestože emise pevných částic nelze u vozu spatřit, během životnosti pneumatiky, která se pohybuje mezi 20-50 000 km, se uvolní do životního prostředí přibližně 10-30 % sjezdové pneumatiky, tedy nejméně 1-2 kg částic materiálu (Emissions Analytics, 2023).

Faktor opotřebení definovaný jako celkové množství ztraceného materiálu na kilometr se velmi liší v závislosti na vlastnostech pneumatiky, jako je velikost – poloměr/šířka/hloubka – hloubka běhounu, konstrukce, tlak a teplota. V jednom z nedávných testů společnosti Emissions Analytics, který byl proveden v reálných, nikoli laboratorních podmínkách, ztratily čtyři pneumatiky na standardním hatchbacku během pouhých 200 kilometrů rychlé jízdy 1,8 kg povrchového materiálu, což je mnohem více, než testující předpokládali. Pro průkaznost emisí pevných částic se používá metoda měření váhy pneumatik. Základem metody je zvažení všech čtyř kol na začátku a na konci testu. Pneumatiky zůstávají po celou dobu na ráfcích. Hmotnost se měří pomocí vah s minimální odchylkou a měří se v gramech. Dále se také měří úbytek hmotnosti v reálném čase. Současně s úbytkem hmotnosti se sbírá signál ze vzorkovače umístěného bezprostředně za jednou nebo více pneumatikami. Měří se distribuce velikosti částic a jejich koncentrace v reálném čase v rozsahu velikostí 6 nm - 10 μm při vzorkovací frekvenci 10 Hz (Emissions Analytics, 2023).



Obrázek 25 Nástroj na měření pevných částic v reálném čase (Emissions Analytics, 2023)

Aktuální překvalifikování emisí z opotřebení pneumatik na mikroplastové znečištění pevných částic zcela redefinuje široce rozšířenou, sto let zastaralou představu veřejnosti, že pneumatiky se skládají převážně z přírodního kaučuku. Místo toho jsou pneumatiky blízkým derivátem ropy a jejich velkoobchodní ceny se obvykle od ní odvíjejí. Běžná automobilová pneumatika se skládá ze 45 % ze syntetického kaučuku (polymeru) pocházejícího z ropy, dále 40 % z černého uhlíku pocházejícího z ropy (plnidlo) a z 15 % z různých přísad na

podporu výrobních procesů, z nichž některé obsahují těžké kovy a jiné jsou rovněž z ropy (Emissions Analytics, 2023).

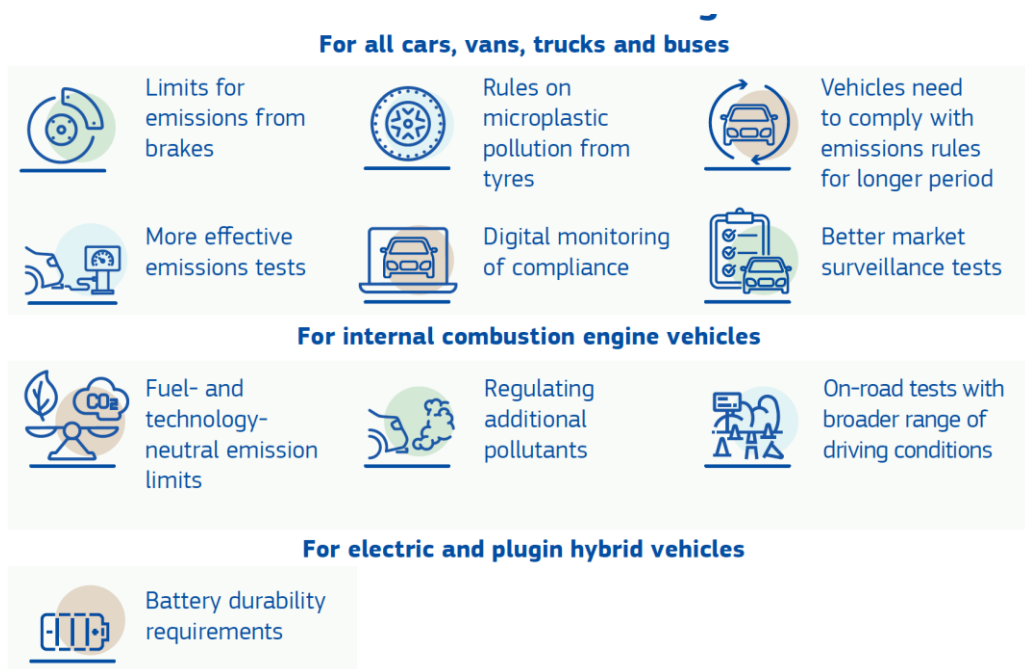
9.2 Emise pevných částic z brzd a vozovky

Dalším emitentem pevných částic jsou brzdy. Především jak moc jsou brzdy namáhány a jaká je intenzita brždění. Jak u automobilů, tak u autobusů hraje roli hmotnost – čím větší hmotnost a rychlost, tím větší je brzdná dráha vozu a následné opotřebení brzd. Jednou z výhod nových technologií je rekuperační brždění. Očekává se, že rekuperační brždění snižuje emise z opotřebení brzd, nicméně vyšší hmotnost a točivý moment alternativních pohonných jednotek, jako jsou elektromotory, budou pravděpodobně spojeny se zvýšeným opotřebením pneumatik (Emissions Analytics, 2023).

Co se týče emisí z vozovky, hraje zde největší roli kvalita povrchu a rychlost či způsob jízdy vozu. Pokud jde o vozovku už ve stádiu mnoha poškození, mnohem snáze se při agresivní jízdě uvolňuje větší množství pevných částic, než když je vozovka v dobrém stavu a jízda je plynulá a neagresivní.

9.3 Norma Euro 7

S nově chystanou normou Euro 7 dochází k důraznějšímu pojetí emisí, než tomu bylo doposud. Vozidla budou nově podléhat přísnějšímu měření emisí a budou muset splňovat emisní limity po delší časový úsek. Dojde také k zavedení nové regulace dalších typů emisí, regulaci emisí z brzdových destiček nebo mikroplastů z pneumatik. Norma Euro 7 se rovněž zaměří na výdrž baterie vozidel.



Obrázek 26 Zpřísnující prvky emisní normy Euro 7 (Evropská komise, 2023)

FCEB tedy neprodukují emise ze spalování, ale produkují emise týkající se jiných částí vozidla, které hrají významnou roli ve znečišťování ovzduší (emise jak z pneumatik vozidel, tak z brzdového systému). Lze tedy do budoucna předpokládat, že u FCEB se nepočítá s emisemi z pohonné jednotky, ale počítá se s regulací emisí pevných částic z kol, brzdových destiček či neadekvátní životností baterie, zkracující délku životního cyklu vozu.

9.4 Srovnání autobusů

Klíčovou roli v množství emitovaných pevných částic PM10 a PM2,5 zde hraje hmotnost každého autobusu. Pro porovnání hmotností poslouží tabulka níže, kde jsou zastoupeny různé značky autobusů pro porovnání váhy v rámci dieselového a vodíkového pohonu, a také případný pokrok ve snížení hmotnosti oproti starším typům autobusů.

Tabulka 12 Hmotnost jednotlivých modelů autobusů (vlastní, 2023)

Kategorie	Model	Hmotnost (Kg)
Dieselové autobusy 2005–2010	Irisbus Crossway LE 12 m	18 700
	SOR CN 12	16 500
Vodíkové autobusy 2021–2023	Škoda H'City	13 000
	Kite Hydroliner	19 500
Dieselové autobusy 2020–2023	Hawk EU 6 diesel 12 m	18600
	Man Lions City 12 m	10 882

Při porovnání hmotnosti starých dieselových autobusů s těmi novějšími lze konstatovat, že průměrná hmotnost je nižší, než u starších modelů. Hrají zde roli zejména lehčí materiály. Příkladem je autobus od společnosti MAN, který váží bez pasažérů 10 882 Kg, což je značně méně, než autobus od společnosti Irisbus. Je však nutné konstatovat, že MAN má hliníkovou konstrukci, aby docílil snížení hmotnosti, a to se projeví na celkové ceně vozu, která se zde neporovnává. Co se týče hmotnosti vodíkových autobusů, není nijak výrazně rozdílná od dieselových vozů. Vodíkové autobusy budou mít podobné emise pevných částic PM10 a PM2,5 z opotřebování pneumatik a brzdových destiček jako ostatní typy starších dieselových autobusů. Všechny tyto autobusy mají stanovený maximální hmotnostní limit 20 000 Kg. Jestliže porovnáme hmotnost oproti menším automobilům, lze předpokládat, že opotřebením brzd je zde výrazně větší a emise pevných částic daleko převyšují ty z osobního automobilu.

9.5 Zdroj vodíku

Zdroj vodíku pro FCEB je pravděpodobně největším znečišťovatelem v rámci vodíkové dopravy. Pokud se zaměříme na nespalovací emise, jsou to pneumatiky, brzdy a vozovka. Když se zaměříme na emise z pohonného ústrojí, emitována je pouze voda, která je však až posledním článkem v celém řetězci užití vodíku. Proto je nutno zohlednit i zdroj vodíku jako takový. Celkový dopad na životní prostředí závisí i na zdroji výroby elektrické energie (uhelný, plynový, jaderný, vodní, solární, větrný či jiné elektrárny). Pokud se vodík vyrábí lokálně, znečišťuje to stejné ovzduší, ve kterém autobus jezdí. Dle dostupných zdrojů je stále ekologičtější výroba vodíku pomocí např. reformingu zemního plynu než běžné spalovací vozy. Výjimkou je např. Čína, která je závislá na uhlí a vodík je zde vyráběn spalováním uhlí, což neguje celý efekt bezemisní dopravy.

10 RIZIKA PRO ZDRAVÍ

Špatná kvalita ovzduší způsobuje předčasné úmrtí asi 370 tisícům Evropanů ročně a zkracuje v Evropě i průměrnou délku života asi o 8,6 měsíců (Šuta, 2011). Mezi látky spjaté s rizikem pro zdraví člověka z dopravních prostředků patří např. uhlovodíky, CO, NO_x, anebo PM. Všechny tyto látky jsou měřeny v rámci emisní normy Euro 5, jež je platná u autobusů MHD v Hodoníně. Lidé, kteří využívají tamní dopravu jsou vystaveni rizikům plynoucím z různých koncentrací těchto látek. Tato kapitola se bude věnovat konkrétním prvkům jež jsou zahrnuty v normě Euro 5 a zároveň byly měřeny v rámci stanic ČHMU, bohužel CO se nezaznamenává na žádné ze stanovených stanic.

Oxid uhelnatý (CO)

CO je produktem nedokonalého spalování a vzniká při hoření jakéhokoli paliva. Je jednou z nejběžnějších a nejrozšířenějších látek znečišťujících vnitřní a venkovní ovzduší. Látka do organismu proniká pouze přes dýchací cesty a ovlivňuje fungování lidského těla. Různé účinky na člověka závisí na koncentraci oxidu uhelnatého. Hlavním následkem působení CO je snížení transportu kyslíku v těle a dochází k zasažení orgánů nejvíce závislých na kyslíku např. mozek, srdce či centrální nervová soustava. V souvislosti s působením oxidu uhelnatého jsou známy hlavní zdravotní vlivy: neuropsychické, srdečně-cévní, na srážlivost krve a na plod v těle matky (MZ, 2020). Šuta (2011) tvrdí, že oxid uhelnatý při dlouhodobé expozici zhoršuje kardiovaskulární onemocnění.

Uhlovodíky (PAU, PAH)

Mezi zdroje uhlovodíků se řadí rovněž spalovací procesy v rámci energetiky, dopravy, lokální topeniště stejně jako metalurgie nebo chemický průmysl. Jedná se o rozsáhlé spektrum látek, z nichž je řada karcinogenních, mutagenních či působí jako endokrinní disruptory. Nejvíce je prozkoumán benzo(a)pyren, jež je vnímán jako pravděpodobný karcinogen (Šuta, 2011). Zplodiny benzínových motorů obsahují větší množství některých plynných emisí, ale u dieselových motorů, které obsahují menší množství těchto emisí, je zase vyšší zaznamenaná hodnota částic nesoucích organické látky, které zahrnují právě uhlovodíky (Věžníková, 2011).

Oxidy dusíku (NO_x)

Souhrnný pojem oxidy dusíku zahrnuje směs oxidu dusného (N₂O), dusnatého (NO) a dusičitého (NO₂). Vznikají ze spalovacích procesů (reakce kyslíku a dusíku). Při vdechnutí

může být pohlcován z 80 až 90 %, v závislosti na dýchání nosem či ústy a způsobují zánětlivé reakce ve sliznicích dýchacích cest, snížení počtu některých bílých krvinek (T – lymfocytů) a následné narušení imunity. Náchylnější skupiny jako astmatici a bronchitici jsou více ohroženy. Oxidy dusíku také vedou ke vzniku sekundárních prachových částic (Šuta, 2011). V souhrnu lze konstatovat, že působení oxidů dusíku je spojené se zvýšením celkové, kardiovaskulární a respirační úmrtnosti (Veronica, 2023).

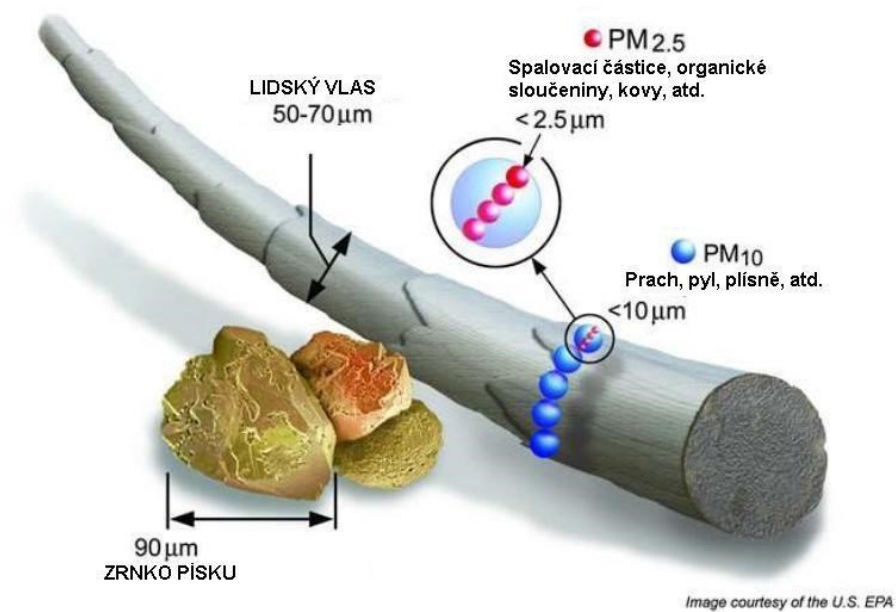
Prachové částice PM10 a PM2,5

Pojem prachové částice je stanoven pro poléťavý prach a jedná se o tuhé pevné částice unášené vzduchem s průměrem pod 10 μm . Jejich obsah ve vzduchu se vyjadřuje jako hodnota PM10. U částic nad 10 μm se předpokládá, že při normálním dýchání neprojdou dýchacím ústrojím do plic, ale jsou díky jejich velikosti zachytávány na sliznici dutiny nosní. Jiná situace platí pro částice PM2,5 což značí velikost do 2,5 μm . Tyto částice jsou schopny proniknout hlouběji do dýchací soustavy. Jejich ukládání v dýchacím ústrojí je závislé, jak na jejich velikosti, tak na způsobu dýchání. Částice s rozsahem od 5 do 10 μm mají tendenci se usazovat v jemných dýchacích cestách. Spolu s rostoucí hloubkou a intenzitou dýchání pronikají částice hlouběji do dýchacího ústrojí. Zároveň s rostoucí hloubkou dýchání pronikají i dříve zachytitelné větší částice do dýchacího ústrojí (Veronica, 2023).

Dopady na člověka jsou závislé na době, po jakou je jim vystaven. U dočasného působení prachových částic dochází u člověka k zvýšení počtu zánětlivých onemocnění plic, nepříznivých účinků na kardiovaskulární systém a také zvýšení spotřeby léčiv a počtu hospitalizací. Co se týče dlouhodobého působení prachových částic, dochází ke snížení plicních funkcí u dětí i dospělých, růstu onemocnění dolních cest dýchacích, ke zvýšení počtu chronických obstrukčních nemocí plic a snížení předpokládané délky dožití (Šuta, 2011).

Mezi zdroje, kde se vyskytují tyto částice nejvíce, patří emise z dopravy a dalších sektorů intenzivně užívajících spalující procesy (např. energetika, hutnictví, spalovny odpadů, lokální topeniště aj.). Částice ze spalín mohou obsahovat řadu těžkých kovů nebo nebezpečných organických sloučenin (např. polycyklické aromatické uhlovodíky). Emise z dopravy mají nesporně souvislost s nepříznivými vlivy na kvalitu ovzduší a jako obzvláště nebezpečné byly vyhodnoceny prachové částice unikající z dieselových motorů, které jsou využívány ve většině užitkových prostředků jako např. autobusy, jejichž trasy vedou přes hustě zalidněné oblasti a vystavují tím riziku velkou masu osob (Veronica, 2023).

Velikost částic – názorná představa



Obrázek 27 Porovnání velikosti částic PM₁₀ a PM_{2,5} s lidským vlasem (Automatizace, 2019)

POUŽITÉ METODY A JEJICH ŘEŠENÍ

Každá z využitých metod má specifický cíl. Metoda SWOT je využita na analýzu vodíku. Ishikawa diagram poskytuje analýzu příčin a následků v rámci rozhodování společnosti ČSAD a vícekritériální matice určí s pomocí výpočtu optimální variantu z nabízených autobusů. Výstupem bude metodické zhodnocení a zdůvodnění pro zachování nebo naopak pro provedení změn proti aktuálnímu stavu.

10.1 SWOT analýza

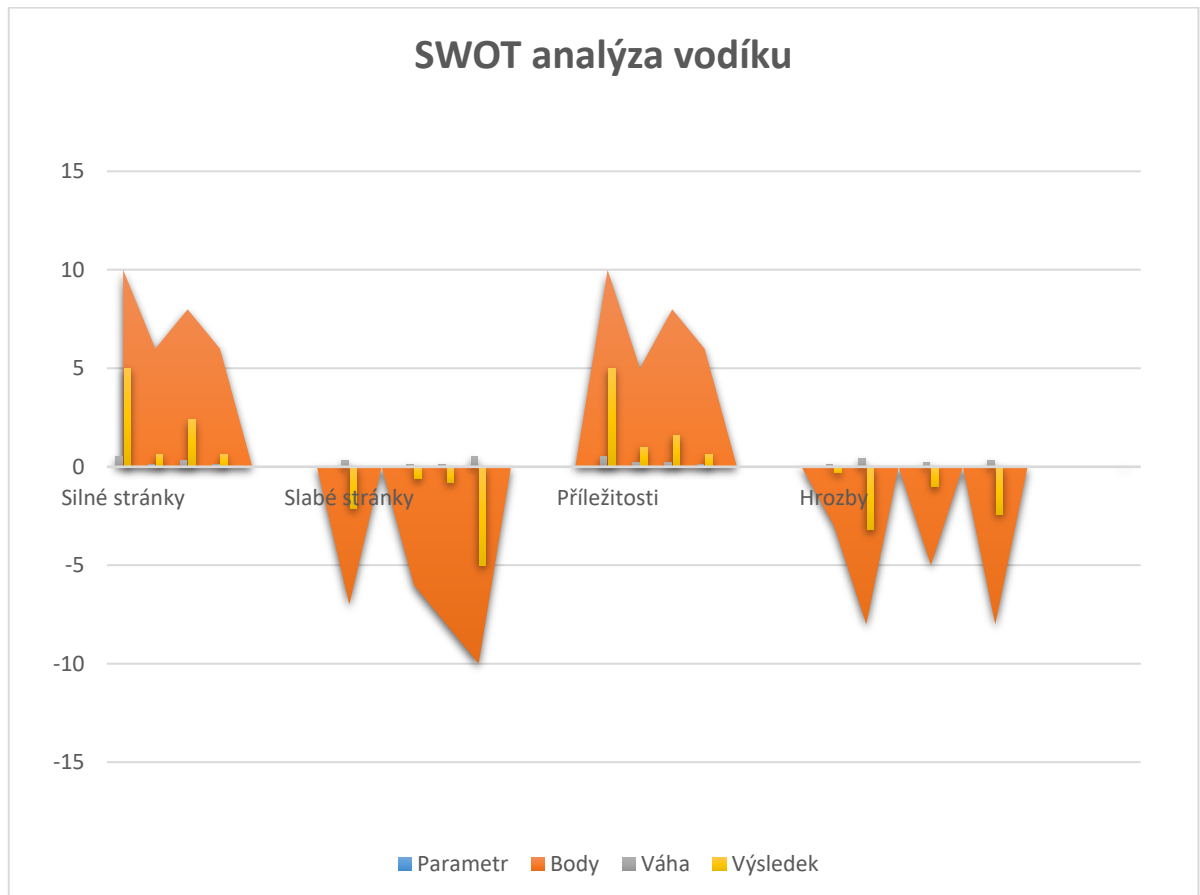
Jedná se o jednoduchou metodu, která se používá k analýze prostředí. Cílem je posoudit vnitřní předpoklady systému k uskutečnění určitého záměru a podrobit rozboru i vnější příležitosti a omezení určované externím prostředím.

Tabulka 13 SWOT analýza na vodík (vlastní zdroj)

Parametr		Body	Váha	Výsledek
Silné stránky	Nulové emise	10	0,5	5
	Rychlost tankování	6	0,1	0,6
	Možnosti výroby vodíku	8	0,3	2,4
	Dojezdová vzdálenost	6	0,1	0,6
		<1,5> ; <1, 10>	∑ 1	∑ 8,6
Slabé stránky	Nákladnost výroby vodíku	-7	0,3	-2,1
	Nákladnost provozu FCEV	-6	0,1	-0,6
	Zaostalý rozvoj	-8	0,1	-0,8
	Nerozvinutá infrastruktura	-10	0,5	-5

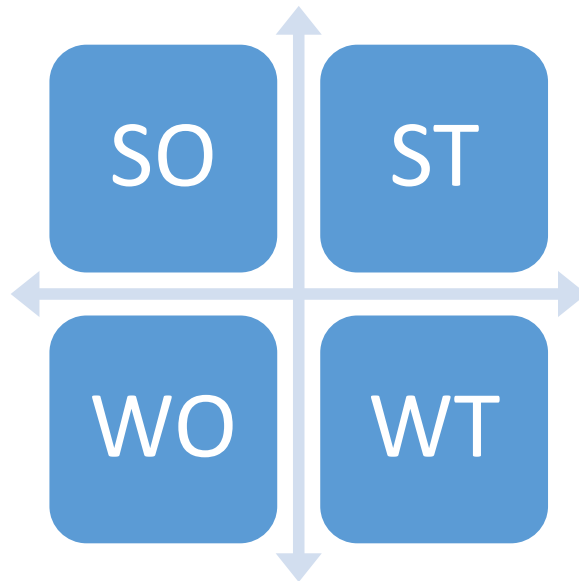
		<-1,-5> ; <-1,-10>	Σ 1	Σ -8,5
Příležitosti	Potenciál pro snížení emisí z dopravy	10	0,5	5
	Snížení závislosti na ropě	5	0,2	1
	Náhrada za spalovací vozy	8	0,2	1,6
	Potenciál pro nákladní dopravu	6	0,1	0,6
		<1,5> ; <1, 10>	Σ 1	Σ 8,2
Hrozby	Riziko výbuchu	-3	0,1	-0,3
	Bateriové elektromobily s již rozvinutou infrastrukturou a přijatelností pro obyvatelstvo	-8	0,4	-3,2
	Nezájem populace nakupovat vodíková auta	-5	0,2	-1
	Nedostatečná podpora ze strany státu	-8	0,3	-2,4
		<-1,-5> ; <-1, -10>	Σ 1	Σ -6,9
Výsledek				(0,1; 1,3)

Po vykalkulování jednotlivých oddílů se vynásobí hodnota vah s hodnocením, v každém kvadrantu se sečtou vynásobené hodnoty a spočítá se interní a externí část SWOT analýzy. Na základě výsledku se poté určí, jaká strategie rozvoje by pro vodík byla nejvhodnější.



Obrázek 28 SWOT analýza vodíku (vlastní zdroj)

- Strategie ofenzivní (SO – strenghts opportunities; +1 až +5)
- Strategie defenzivní (ST – strenghts threats; +1 až +5)
- Strategie spojenectví (WO – weakness opportunities; -1 až -5)
- Strategie úniku nebo likvidace (WT – weakness threats, -1 až -5)



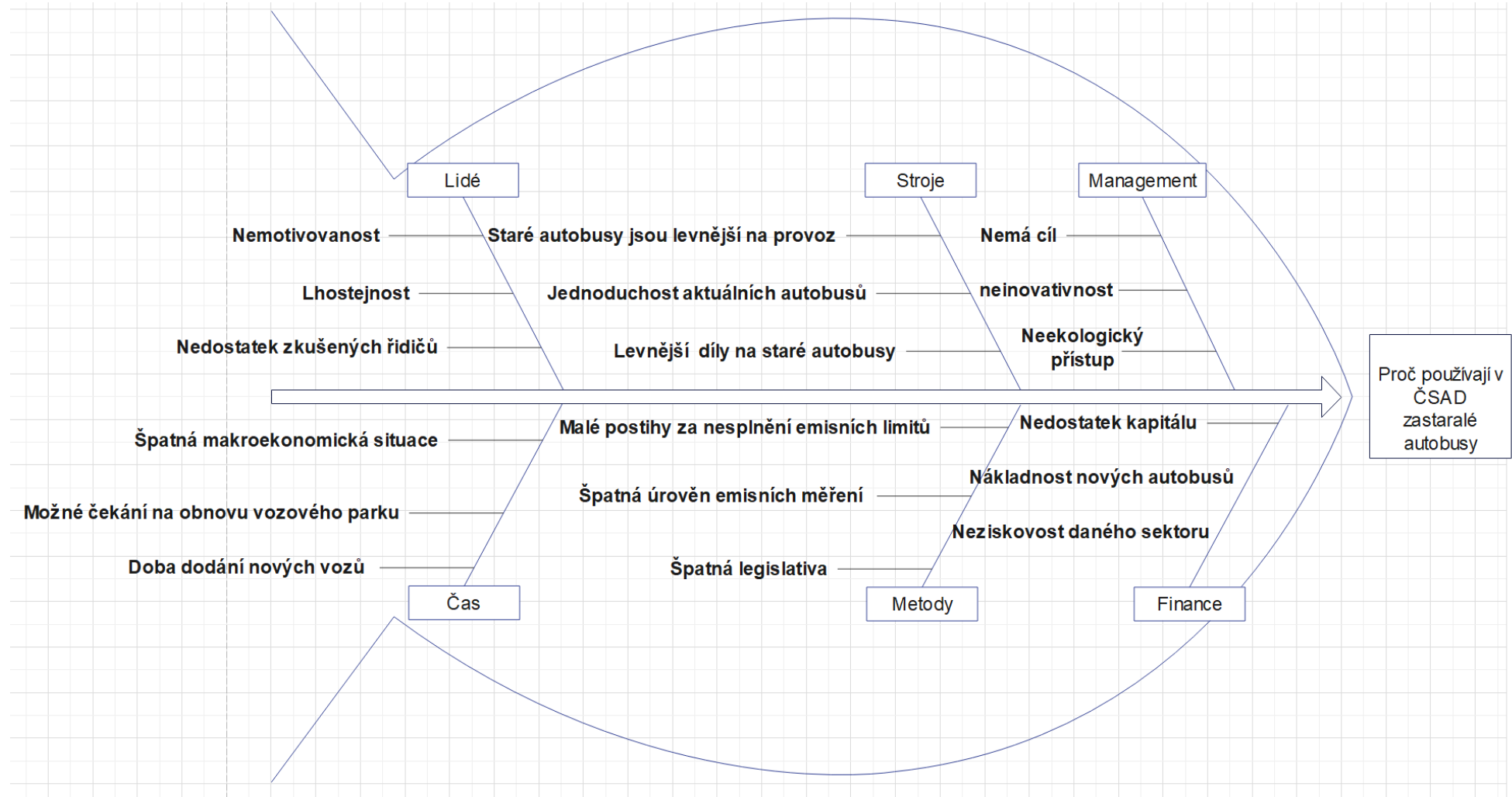
Obrázek 29 Graf strategií SWOT (vlastní zdroj)

Vodík s jeho hodnotami 0,1 a 1,3 patří mírně doleva od středu a také směrem nahoru do plusové hodnoty. Tím pádem výsledek odpovídá ofenzivní strategii. Tato analýza není běžně aplikována na produkt nebo medium, ale primárně na společnost a její rozvoj. Zde lze však uvažovat o společnosti, která by vyráběla a distribuovala vodík, např. Plug Power, Ballard Power Systems nebo Hyzon Motors, a právě tato strategie by pro ně byla vhodná pro optimální rozvoj. Při aplikaci na vodík je výsledek důležitý v tom ohledu, že silné stránky převažují nad slabými stránkami a příležitosti převažují nad hrozbami. To dává vodíku předpoklad uspět v jeho užití pro vodíkové vozy.

10.2 Ishikawa diagram

Ishikawa diagram nazývaný rovněž diagram příčin a následků, diagram rybí kosti, anebo pouze Ishikawa je jednoduchá analytická metoda pro zobrazení a následně analýzu příčin a následků. Je to forma brainstormingu při řešení nějakého problému. Nejčastěji se používá kategorizace 8 M. Manpower, Materials, Management, Methods, Machines, Measurements, Mother Nature, Maintenance.

V naší práci se využívá Ishikawa diagram pro nalezení příčin využívání zastaralých a neekologický autobusů v ČSAD Hodonín. Pro konkrétní diagram při řešení problému v rámci zastaralých typů autobusů bude použito pouze 6 kategorií, z toho jedna upravená pouze pro tento případ. Jsou to kategorie: lidé, management, finance, materiály, metody a stroje.



Obrázek 30 Diagram příčin a následků (vlastní zdroj)

Z diagramu výše, který rozebral možné příčiny přetrvávající zastaralosti vozového parku společnosti ČSAD je několik závěrů. Největší roli by mohly hrát finanční prostředky, kterých je na nákup nových a ekologičtějších autobusů potřeba více, než stály starší modely autobusů, nyní v provozu. Společnosti se to nevyplatí. Lze také hledat příčiny v lidech a vedení společnosti, kde je prioritou čistě zisk, a ne ohleduplnost k životnímu prostředí.

10.3 Vícekriteriální matice

U této metody se použije postup pro vícekriteriální hodnocení variant, kde budeme vybírat nejvhodnější vodíkový autobus pro použití v městské hromadné dopravě pro Hodonín. Metoda stojí na principu více kritérií, kde máme několik vlastností autobusu, které v matici budeme srovnávat s konkurenčními vozy a vyjde nám nejlepší varianta. U pěti modelů autobusů na vodík se shromáždí společné údaje, na základě, kterých se poté matice vypracuje. Modely jsou již popsány výše. Zde jsou nově vlastnosti a specifikace těchto modelů s kterými se bude pracovat.

Tabulka 14 Specifikace vodíkových autobusů (vlastní zdroj)

Název	Dojezd (km)	Počet sedadel	Kapacita nádrže (Kg)	Cena (Kč)	Hmotnost (Kg)	Doba plnění nádrže
Škoda H'City	350	30 85	39	14,3 – 16,6 000000	13 000	7 min
Elec City Fuel Cell	434	22/ 48	34,5	X	12 140	15 min
H2. City Gold	400	40/64	37,5	X	17150	9 min
A12	400	41	36	14 232 000	16900	7 min
Kite Hydroliner	724	41/85	32	X	19 500	10 min

Jelikož je cena téměř u všech autobusů neznámá, nelze ji brát jako rozhodující faktor. Často jsou to velmi nové projekty a žádná z firem nemá ceník dostupný. Na dotazy bohužel většina firem nezareagovala uspokojivou odpovědí. V rámci ceny tedy stanovíme u autobusů, kde je neznámá stejnou cenu, jako je u konkurence, o nejvhodnější variantě budou rozhodovat ostatní parametry. Pro co nejpřesnější porovnání jsou zvoleny všechny varianty autobusů o délce 12 metrů. Lze předpokládat, že rozdíl ceny bude co nejnižší. Pro výpočet optimální varianty budou použity: dojezd, počet sedadel, hmotnost a doba tankování.

Tabulka 15: Varianty autobusů (vlastní zdroj)

Varianty	
X1	Škoda H'City
X2	Elec City Fuel Cell
X3	H2. City Gold
X4	A 12
X5	Kite Hydroliner

Tabulka 16 Kritéria pro porovnání (vlastní zdroj)

Kritéria		
A1	Dojezd (Km)	Max
A2	Počet sedadel	Max
A3	Hmotnost (Kg)	Min
A4	Čas potřebný k natankování (Min)	Min

Kritéria jsou maximalizační nebo minimalizační. Minimalizační kritéria se převádí na maximalizační vyjádřením úspor vůči nejhorší variantě. Ke každé kategorii se také musí určit váha, podle které se vykalkuluje finální dopočet. Určení váhy je subjektivní dle osobního zhodnocení kritérií. Zde určíme váhy (0,5;0,3; 0,1; 0,1).

Tabulka 17 Matice Y (vlastní zdroj)

	A1	A2	A3	A4
X1	350	30	13000	7
X2	434	22	12140	15
X3	400	40	17150	9
X4	400	41	16900	7
X5	724	41	19500	10

Y=

Tabulka 18 Matice Y' (vlastní zdroj)

	A1	A2	A3	A4
X1	350	30	6500	8
X2	434	22	7360	0
X3	400	40	2350	6
X4	400	41	2600	8
X5	724	41	0	5

V kritériální matici jsou všechna kritéria maximalizačního typu – čím vyšší hodnota v daném sloupci, tím lepší varianta dle daného kritéria je. Stále jsou ale hodnoty v různých sloupcích v různých jednotkách a nejde je zatím porovnat.

Tabulka 19 Matice R (vlastní zdroj)

	A1	A2	A3	A4
X1	0	0,42	0,88	1
X2	0,23	0	1	0
X3	0,13	0,95	0,32	0,75
X4	0,13	1	0,35	1
X5	1	1	0	0,625

Tabulka 20 Metoda váženého součtu, pořadí variant (vlastní zdroj)

X	Výpočet s pomocí vah	Výsledek	Pořadí variant
X1	$0,5 \times 0 + 0,3 \times 0,42 + 0,1 \times 0,88 + 0,1 \times 1$	0,314	4.
X2	$0,5 \times 0,23 + 0,3 \times 0 + 0,1 \times 1 + 0,1 \times 0$	0,215	5.
X3	$0,5 \times 0,13 + 0,3 \times 0,95 + 0,1 \times 0,32 + 0,1 \times 0,75$	0,457	3.
X4	$0,5 \times 0,13 + 0,3 \times 1 + 0,1 \times 0,35 + 0,1 \times 1$	0,500	2.
X5	$0,5 \times 1 + 0,3 \times 1 + 0,1 \times 0 + 0,1 \times 0,625$	0,863	1.

Výsledek matice R byl poté vynásoben s váhou každé kategorie, což nám dalo výsledek v podobě čísla většího od nuly. Čím větší číslo, tím lepší varianta. V tomto případě je nejlepší variantou pro dopravu varianta X5, autobus od společnosti Wright s názvem Kite Hydroliner. V rámci vah byly určeny jako stěžejní vlastnosti dojezd a počet sedadel, v čemž tento autobus převyšoval konkurenční vozy. Nutno však počítat s neurčitostí ceny a

zahraniční distribuce a určit náhradní variantu. Primárně by se projekt řešil výběrovým řízením, ale při vlastním výpočtu by byla náhradní varianta nejspíše varianta X1, což je produkt z domácího trhu. Tato volba by usnadnila výrobu, provoz i údržbu, je však druhá od konce v rámci požadavků.

10.4 Shrnutí použitých metod

V kapitole byly použity metody SWOT, Ishikawa diagram a vícekriteriální matice. Metoda SWOT byla využita k analýze vodíku a jeho výhod a nevýhod v rámci rozvíjejícího se potenciálu pro vodíkovou mobilitu. Druhá z metod byla využita k analýze společnosti ČSAD, a to především jejího vozového parku. Třetí z metod byla, co se týče rozsahu největší a zaměřila se na analýzu pěti typů vodíkových autobusů, které jsou popsány v kapitole 8. Na základě propočtu poté vyšel jeden z autobusů jako nejoptimálnější varianta.

11 PRINCIP UDRŽITELNÉHO ROZVOJE

Hlavním cílem tohoto projektu není jenom upozornit na vodíkový pohon, ale také na princip udržitelného rozvoje a poukázat na nutnost změny v tomto směru. Současná doba je výjimečná, jelikož dochází k podání si rukou a uzavření míru mezi životním prostředím a automobilovou dopravou, kdy přes sto let existovaly pouze vozy s negativním vlivem na přírodu a celé své okolí. S vodíkem by tato éra mohla být u konce, a s pomocí technologií vytvořit novodobou automobilovou éru, kde by měl hlavní slovo vodík a čistá elektrická energie. V rámci udržitelnosti a zachování hodnot pro další generace je to nezbytná cesta. Přesto, že mnohým se to zdá až na hraně logiky a zdravého rozumu, někdy tam prostě musí být někdo (EU) kdo udělá rozumnou věc a díky technologiím a s pomocí legislativy posune lidstvo zase o kousek vpřed, směrem k uhlíkové neutralitě. V rámci světa lze brát za průkopníka Evropskou unii, která se snaží jít příkladem a za podstatného ekonomického rizika se odhodlala přejít na bezemisní vozy. V řadách jednotlivců to může být například Elon Musk, kterého lze brát za průkopníka elektromobility jako takové, protože vodíková auta jsou také elektromobily, jen mají rozdílný zdroj, z kterého čerpají elektrickou energii. Byl to právě Elon Musk a jeho automobilka Tesla, která ukázala, že elektroauta nejsou pomalá a nudná, ale právě naopak, že jsou rychlá a rovněž hezká. Nová Tesla S Plaid dokáže zrychlit z nuly na sto za 2 sekundy. To je rychlejší než většina supersportů na fosilní paliva. Lze zde debatovat o požitku z jízdy, ale je myslím jasné, že elektromobilita prodělala obrovský vývojový šok a v roce 2035, kdy nejspíše dojde k zákazu prodeje automobilů se spalovacími motory, můžeme čekat, že elektromobilita bude připravena převzít otěže v automobilové dopravě.

12 NÁVRH ŘEŠENÍ DANÉ PROBLEMATIKY

Návrh spočívá v nahrazení starých dieselových autobusů společnosti ČSAD, které splňují pouze normu EURO 5 (vešla v platnost již v roce 2009, to je více než 14 let zpět). Tyto autobusy se pohybují výlučně ve městě a veškeré jejich emise negativně ovlivňují kvalitu ovzduší a při dlouhodobém vdechování těchto látek, ke kterému v rámci městské hromadné dopravy dochází, může dojít k dýchacím potížím či jiným onemocněním. Snaha je proto nahradit tyto autobusy bezemisními vozy na vodík, které vypouštějí pouze vodu. Pokud dojde k využívání vodíkových autobusů, nebudou již cestující a obyvatelé vystaveni nežádoucím spalinám a látkám emitovaným spalovacími autobusy.

12.1 Ekonomická stránka projektu

Ekonomická náročnost je u tohoto projektu stěžejní faktor. Vodíková technologie je, co se týče škály využití, zatím nerozvinutá, a hlavně využívána v nízkém počtu vozů. Tzn. čím méně vozů, tím větší náklady na výrobu a provoz. Bude nutno pořídit nejen autobusy, ale také vybudovat čerpací stanici na vodík. Jeden z trendů poslední doby je adaptace benzínových čerpacích stanic na měnící se situaci. Na stanicích lze běžně využít dobíjecí stanice pro elektrická vozidla, CNG, LPG a samozřejmě Ad blue. Stanice jsou součástí větších společností, kterým jde především o zisk a je jim jedno, co nabízejí. Jako zásadní průlom lze brát čerpací stanici na pražském Barrandově. Společnost Orlen tam otevřela (v Praze) první zcela veřejnou čerpací stanici na vodík. Na místě bude probíhat zároveň testování vodíkového autobusu Škoda H'CITY, který tam bude sloužit v rámci městské hromadné dopravy. Lze to brát jako základní impuls pro rozvoj vodíku i v dalších městech.

12.1.1 Náklady na pořízení autobusů

Důvody nepořízení nových autobusů společností ČSAD jsou zmapovány v Ishikawa diagramu a je nutno přihlídnout k těm nejpravděpodobnějším, a to je právě cíl společnosti nebo finanční stránka. Finanční stránku je potřeba podpořit, nelze předpokládat, že společnost by poříдила vodíkové autobusy na vlastní náklady. Právě v této iniciativě rozvoje vodíkové mobility by jí mohly pomoci různé národní projekty či projekty na úrovni Evropské unie, kde by bylo možné sehnat potřebné finance a být iniciátorem rozvoje vodíku v dané oblasti. Právě tyto projekty mají za úkol zahustit dopravní infrastrukturu vodíkovými vozy a vodíkovými čerpacími stanicemi.

Jedna z forem podpory je právě projekt JIVE. Projekt JIVE (Joint Initiative for Hydrogen Vehicles across Europe) se snaží o zavedení 139 autobusů s nulovými emisemi a související infrastrukturou pro doplňování paliva v pěti zemích. Projekt by měl být realizován v rozsahu šesti let od ledna 2017 a je spolufinancován grantem ve výši 32 milionů eur z programu Clean Hydrogen Partnership (dříve Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking) prostřednictvím rámcového programu Evropské unie pro výzkum a inovace Horizont 2020. Projektové členství tvoří 22 partnerů ze sedmi zemí. Jedná se o první ze dvou projektů. Další projekt s názvem JIVE2 byl zahájen v lednu 2018 a jeho součástí je i testování FCEB od společnosti CaetanoBus v Mostě. Projekty dohromady umožnily od začátku roku 2020 nasadit téměř 300 autobusů s palivovými články ve 22 městech po celé Evropě. Další větší úsilí bylo zaznamenáno v projektu H2BUS Europe. Společnosti Everfuel, Wrightbus, Ballard Power Systems, Hexagon Composites, Nel Hydrogen a Ryse Hydrogen, jakožto významní zástupci v hodnotovém řetězci elektrických vodíkových palivových článků, spojily své síly a v roce 2019 vytvořily konsorcium H2BUS. Členové se zavázali k nasazení 1 000 elektrických autobusů s vodíkovými palivovými články spolu s podpůrnou infrastrukturou v evropských městech za komerčně konkurenceschopné ceny. První fáze projektu, čítající celkem 600 autobusů, je podpořena částkou 40 milionů eur z CEF (Connecting Europe Facility). Dotace umožní do konce roku 2023 nasadit 200 elektrických autobusů s vodíkovými palivovými články a podpůrnou infrastrukturu v Dánsku, Lotyšsku a Spojeném království (FCEB, 2023).

Podobné společné úsilí by bylo možné ve společných projektech skupiny V4, do které patří Česká republika, Maďarsko, Polsko a Slovensko. Tyto státy se snaží spolupracovat na vyšší úrovni a dal by se vytvořit společný projekt, jelikož tyto státy spolu také sousedí. Ovšem aktuální politická situace významně ovlivnila vztahy V4, kde Maďarsko a částečně i Polsko stojí v mnoha otázkách jak bezpečnostních, tak energetických nebo lidských, na jiné straně. Významnější spolupráci v tomto ohledu nelze předpokládat. Nutno však zmínit, že třeba Česká vodíková technologická platforma HYTEP.cz, jež funguje již od roku 2007, je spolufinancována právě z peněz Visegrad Fund.

12.1.2 Náklady na výstavbu stanice

Stanice sama o sobě je enormní investice a zátěž, ale zkrátka nemůže být stanice bez autobusů anebo autobusy bez stanice. Dle různých zdrojů vychází cena stanice někde mezi 14–20 miliony korun. Je zde mnoho neznámých. Jedna z nich je, že v Česku se nyní počítají jen dvě stanice, které jsou veřejné, je tedy málo dat o výstavbě stanic obecně. Dále pak hrají

roli dotace, firma, která projekt realizuje či velikost čerpací stanice, kolik pojme kg vodíku atd. Právě v rámci podpory a dotací, lze předpokládat pomoc u tohoto typu investice. Ministerstvo dopravy výstavbu vodíkové stanice na Barrandově podpořilo v rámci Operačního programu Doprava 2. a se zřetelem na současný plán čisté mobility pro ČR by v České republice do roku 2025 mělo být 12 vodíkových stanic. Jedná se o širší plán v rámci Evropské unie, kde je za cíl vybudovat vodíkovou infrastrukturu každých 200 km na hlavní síti přes Evropu (MŽP, 2019).

Hodonín by se u tohoto projektu měl opřít o vlastní finance, dále pak o finance z fondů a podpory státu a také je zde možnost spolupráce s čerpacími stanicemi, v jejichž zájmu je adaptace na měnící se trh s mobilními vozy.

Příkladem jde společnost Orlen Unipetrol, která pokračuje v budování infrastruktury alternativních pohonů. Ve své síti ORLEN Benzina, která vlastní 431 stanic v celé ČR, nabízí vedle klasických pohonných hmot i řadu alternativních paliv. Na 56 čerpacích stanicích je k dispozici zkapalněný ropný plyn (LPG), na 46 stanicích lze načerpat stlačený zemní plyn (CNG) a na 55 stanicích je k dispozici celkem 225 dobíjecích bodů pro elektromobily (Orlen, 2023).

12.1.3 Náklady na provoz autobusů

Aktuální cena vodíku významně ovlivní provozní náklady městských linek s vodíkovými autobusy. Tím, že síť stanic a výroba vodíku je velmi malá, celý tento řetězec výroby, skladování, chlazení, dovoz a uchovávání vodíku se odráží na finální ceně produktu. Aktuálně se cena jednoho kg vodíku pohybuje na 278Kč/kg-H₂. Spotřeba autobusů je cca 10-12 kg/100 Km v zimě a 8-10 kg/100 km v létě.



Obrázek 31 Ilustrační zobrazení spotřeby v autobuse Caetano (Caetanobus, 2023)

12.2 Shrnutí finanční náročnosti projektu

Tabulka 21 Ekonomická stránka projektu dle aktuální situace cen na vodíkovém trhu (vlastní zdroj)

Položka	Počet (ks)	Částka (Kč)
Čerpací stanice	1	14-20 000 000
Autobusy MHD Hodonín	5	5 x 15 000 000
Celková částka na projekt	-	89 - 95 000 000
Budoucí zahrnutí meziměstské dopravy v rámci ORP Hodonín	88	88 x 14 000 000
Částka na rozšíření projektu	-	1 232 000 000
Celkové náklady za oba projekty	-	1 321 000 000 - 1 327 000 000

Ekonomické nacenění projektu je náročné v rámci přesnosti částky. Již od počátku se jedná o velmi nákladnou proměnu, a navíc je to v období počátku zavádění vodíku do provozu v České republice. Jsou tu různé proměnné od ceny vodíkového autobusu, možností čerpání dotací a ceny samostatné vodíkové stanice, tak i neznámá v podobě výroby vodíku pro tento

konkrétní účel. Původní částka autobusů je vzata jako jakýsi průsečík rozdílu cen jednotlivých vozů. Cena dodatečného projektu v rámci meziměstských autobusů je ponížena o množstevní odběr stejně jako předpokládaný budoucí nákup spojený s již nižšími náklady na výrobu.

12.3 Vlivy a benefity na kvalitu ovzduší a zdraví obyvatel

V otázce benefitů pro obyvatelstvo a lidská zdraví, je vodík jedna z nejvhodnějších variant, co se týče paliva a pohonu. Vodíkové autobusy, jak již bylo vícekrát demonstrováno emitují pouze vodu, která je netoxická a je bezpečná pro okolní prostředí při jejím odtoku z výfuku i odtokového ústrojí. Tento extrémní benefit má výrazný vliv na lidské zdraví a na kvalitu ovzduší. Ve škále, v jaké jsou nyní vodíkové autobusy využívány, je sice význam nepatrný, nicméně je velká šance, že je to začátek něčeho většího. Pokud by byla opravdu doprava města tvořena vodíkovým pohonem např. z deseti procent, lze se bavit o významném dopadu na kvalitu ovzduší. Důležitým faktem zůstává, že se většina vodíku nevyrábí čistou cestou, ale stále existuje způsob, kterým se čistý vodík dá vyrábět a je to způsob již obecně známý. FCEB mají negativní dopad v rámci pevných částic, ale není to zásadně odlišné od aktuálních autobusů, ovšem ve všech ostatních kategoriích jsou pro lidské zdraví bezpečnější. Dopady a rozdíly lze pozorovat v tabulce níže, kde je dle různého dojezdu autobusů porovnáno množství vypuštěných částic na daný počet kilometrů. Ve srovnání se jedná o vodíkové autobusy vs. dieselové autobusy, které splňují normu Euro 5, stejně jako autobusy, které jezdí v Hodoníně. Autobusy patří do kategorie M2 a M3, což je zde zahrnuto pod kategorií s názvem M.

Tabulka 22 Norma EURO 5, mezní hodnoty (Úřední věstník Evropské unie, 2007)

		Referenční hmotnost (RM) (kg)	Mezní hodnoty (EURO 5)													
			Hmotnost oxidu uhelnatého (CO)		Celková hmotnost uhlovodíků (THC)		Hmotnost uhlovodíků neobsahujících methan (NMHC)		Hmotnost oxidů dusíku (NO _x)		Součet celkové hmotnosti uhlovodíků a hmotnosti oxidů dusíku (THC + NO _x)		Hmotnost částic (PM)		Počet částic (1) (P)	
			L ₁ (mg/km)		L ₂ (mg/km)		L ₃ (mg/km)		L ₄ (mg/km)		L ₂ + L ₄ (mg/km)		L ₅ (mg/km)		L ₆ (#/km)	
Kategorie	Třída		PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI
M	—	Všechny	1 000	500	100	—	68	—	60	180	—	230	5	5		
N ₁	I	RM ≤ 1 305	1 000	500	100	—	68	—	60	180	—	230	5	5		
	II	1 305 < RM ≤ 1 760	1 810	630	130	—	90	—	75	235	—	295	5	5		
	III	1 760 < RM	2 270	740	160	—	108	—	82	280	—	350	5	5		
N ₂			2 270	740	160	—	108	—	82	280	—	350	5	5		

Klíč: PI = zážehový motor, CI = vznětový motor

Tabulka 23 Srovnání emisí autobusů (vlastní zdroj)

Vodíkový autobus				
Látky	10 000 km	20 000 km	30 000 km	100 000 km
CO (mg)	0	0	0	0
THC (mg)	0	0	0	0
NMHC (mg)	0	0	0	0
NO _x (mg)	0	0	0	0
THX +NO _x (mg)	0	0	0	0
PM (mg)	50 000	100 000	150 000	500 000
Dieselový autobus (EURO 5)				
Látky	10 000 km	20 000 km	30 000 km	100 000 km
CO (mg)	5 000 000	10 000 000	15 000 000	50 000 000
THC (mg)	-	-	-	-
NMHC (mg)	-	-	-	-
NO _x (mg)	1 800 000	3 600 000	5 400 000	18 000 000
THC +NO _x (mg)	2 300 000	4 600 000	6 900 000	23 000 000
PM (mg)	50 000	100 000	150 000	500 000

Při srovnání tabulek je patrný rozdíl v množství spalovacích a nespalovacích emisí. Bylo prokázáno, že nespalovací emise u vodíkových autobusů se pohybují na přibližně stejných hodnotách jako u spalovacích, tudíž zde žádné benefity pro lidské zdraví nejsou. Navíc s narůstající vahou bezemisních vozů, jako jsou autobusy s bateriemi nebo s palivovými články, dochází ke zvýšení nespalovacích emisí. Naopak u spalovacích emisí je rozdíl až 100 % záleží, pokud zohledňujeme zdroj vodíku. Tak či tak, spalovací vozy ovlivňují kvalitu ovzduší a lidské zdraví negativně ve větší míře než vodíkové autobusy.

ZÁVĚR

Snaha o zlepšení kvality ovzduší je dlouhodobý cíl a je na něm stále potřeba pracovat. Sektor dopravy, jakožto jeden z hlavních zdrojů zhoršené kvality ovzduší, musí s pomocí nových technologií snižovat svůj podíl na tomto znečištění. Právě vodík jako jedna z alternativ poskytuje možnost diverzifikace alternativních zdrojů pohonu v dopravě, a především je schopen splnit podmínky bezemisní dopravy. Městské autobusy na vodík jsou správným prvním krokem z důvodu kombinovaného financování, které lze zajistit z více zdrojů, jelikož se nejedná pouze o soukromý sektor, ale pravidelně jsou v tomto ohledu zainteresovaná i města nebo různé dotační programy. Zavádění vodíkových autobusů do MHD se jeví jako vhodný první impuls rozvoje celé vodíkové mobility. Zda je zde konkurenceschopnost, oproti běžným spalovacím autobusům či elektrickým autobusům, je více než sporné. Největší výzva spočívá ve finanční náročnosti realizace vodíkových projektů. Vodíkové autobusy stojí až dvojnásobek, co autobusy diesellové (aktuální rozdíl cca 6 mil. Kč) a je těžké očekávat, že si je dopravce koupí, jen aby nepatrně pomohl kvalitě ovzduší. Proto je nutná iniciativa a spolupráce v rámci celé EU, kde dochází k propojování vodíkové infrastruktury, stejně jako před lety a stále aktuálně i výstavba elektrických dobíjecích stanic. Jeden z hlavních protiargumentů je nyní hlavně cena, což je z mého pohledu něco, co se dá během řady let změnit. Záleží jen na spolupráci jednotlivých zemí a množství financí vynaložených na infrastrukturu a rozvoj této technologie. Při využití vodíkové mobility ve větším rozsahu, je zlepšení kvality ovzduší nevyhnutelné a v rámci MHD to dává smysl především kvůli množství cestujících, které autobusy denně přepraví. Vodíkové autobusy sice emitují značné množství nespalovacích emisí, ale stejná situace by nastala, kdyby byly místo vodíkových autobusů pořízeny autobusy na elektrinu, nebo autobusy s běžnými spalovacími motory. Všechno se odvíjí od hmotnosti daného prostředku, která je velmi podobná u většiny typů pohonů. Vodíkové autobusy mají palivové články, elektrické autobusy mají těžkou baterii a diesellové autobusy mají těžký motor a nádrž na stovky litrů paliva. Navíc v rámci spalovacích emisí je vodíkový pohon jasný favorit a pokud by jezdilo tolik vodíkových autobusů, co jezdí diesellových, na kvalitě ovzduší by to bylo znát. Při výsledném porovnání je prokázáno, že nahrazení stávajících autobusů za vodíkové by přispělo ke zlepšení kvality ovzduší v Hodoníně. Přesto, že mnohým se to zdá až na hraně logiky a zdravého rozumu, někdy tam prostě musí být někdo (EU) kdo udělá rozumnou věc a díky technologiím a s pomocí legislativy posune lidstvo zase o kousek vpřed, směrem k uhlíkové neutralitě.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

AUTOLINE, 2023. *Vyhledávání nákladních vozidel, autobusů a náhradních dílů* [online]. [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: <https://autoline.cz/-/prodej/turisticke-autobusy/IRISBUS/IVECO-CROSSWAY-12-0-SFR160--22082413421993500500>

CAETANO BUS, 2022. *H2.City Gold* [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://caetanobus.pt/en/buses/h2-city-gold/>

California Energy Commission, 2022. *Hydrogen Refueling Stations in California* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.energy.ca.gov/data-reports/energy-almanac/zero-emission-vehicle-and-infrastructure-statistics/hydrogen-refueling>

Centrum dopravního výzkumu, 2023. *Registrace nových vozidel v ČR* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.cistadoprava.cz/registrace-novych-vozidel-v-cr/>

COLEMAN, David et al, 2020. *International Journal of Hydrogen Energy: The Value Chain of Green Hydrogen for Fuel Cell Buses – A Case Study for the Rhine-Main Area in Germany* [online]. 5122-5133 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.06.163>

Český hydrometeorologický ústav, 2012. *Imisní limity podle zákona o ochraně ovzduší 201/2012 Sb* [online]. [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/info/limity_CZ.html

ČSAD Hodonín a.s., 2022. *Osobní doprava* [online]. [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://csad.com/sluzby/osobni-doprava/>

Department of Motor Vehicles, 2022. *Statistics* [online]. [cit. 2023-01-20]. Dostupné z: <https://www.dmv.ca.gov/portal/news-and-media/dmv-statistics/>

Dopravní info, 2023. *Aktuální situace* [online]. [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://dopravniinfo.cz/CR>

ELGOWAYNY, Amgad et al., 2018. *Current and Future United States Light-Duty Vehicle Pathways: Cradle-to-Grave Lifecycle Greenhouse Gas Emissions and Economic Assessment* [online]. ACS Publications [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b06006>

Emissions Analytics, 2023. *Real World Tyre Degradation* [online]. [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: Tyre emissions — Emissions Analytics

Evropská agentura pro životní prostředí, 2020. *Znečištění ovzduší* [online]. [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs>

Fuel Cell Electric Bus, 2017. *JIVE* [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.fuelcellbuses.eu/projects/jive>

HUA, Thanh et al, 2014. *Journal of Power Sources: Status of Hydrogen Fuel Cell Electric Buses Worldwide* [online]. 975-993 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.06.055>

Hytep.cz, 2021. *Výroční zpráva 2021*. [online]. [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.hytep.cz/platforma/dokumenty-ke-stazeni>

HYUNDAI, 2023. *Elec City Fuel Cell* [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://trucknbus.hyundai.com/hydrogen/en/hydrogen-vehicles/elec-city-fuel-cell>

CHALOUPKA, Mirsolav, 2023. *České noviny: Škoda Group představila nový vodíkový autobus, otestuje ho Praha* [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/skoda-group-predstavila-novy-vodikovy-autobus-otestuje-ho-praha/2323637>

CHOUR, Martin, 2014. *Tram-Bus.cz: VHD nejen v Praze a středních Čechách* [online]. [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://www.tram-bus.cz/mhd-praha/autobusy/vozy/iveco/iveco-crossway-12mle/>

KU, Anthony Y et al, 2021. *Zero-emission Public Transit Could Be a Catalyst for Decarbonization of the Transportation and Power Sectors*: [online]. 492-504 [cit. 2023-01-21]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1093/ce/zkab029>

LIPMAN, Tymothy E. a WEBER, Adam Z., 2019. 2. vydání. *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology Series: Fuel Cells and Hydrogen Pruduciton*. NewYork: Springer, ISBN 978-1- 4939-7788-8

LIU, Feiqi et al, 2018. *The Impact of Fuel Cell Vehicle Deployment on Road Transport Greenhouse Gas Emissions: The China Case* [online]. Elsevier, 22604-22621 [cit. 2023-01-22]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.10.088>

MAN Germany, 2023. *Lion's City 12* [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: https://www.man.eu/de/en/bus/the-man-lion_s-city/diesel-drive/man-lion_s-city.html

Město Hodonín oficiální web, 2020. *Výroční zprávy města* [online]. [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://hodonin.eu/vyrocní-zpravy-mesta/ms-102754/p1=102754>

Ministerstvo dopravy, 2022. *Statistické výstupy – výběr vozidel* [online]. [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.dataovozidlech.cz/vystupDK>

Ministerstvo dopravy, 2023. *Statistika* [online]. [cit. 2023-01-20]. Dostupné z: [https://www.mdcz.cz/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel/Statistika-2-2016-\(k-1-7-2016\)/Statistika-II-pol-2020-\(k-1-1-2021\)?returl=/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel/Statistika-2-2016-\(k-1-7-2016\)](https://www.mdcz.cz/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel/Statistika-2-2016-(k-1-7-2016)/Statistika-II-pol-2020-(k-1-1-2021)?returl=/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel/Statistika-2-2016-(k-1-7-2016))

Ministerstvo zdravotnictví, 2020. *Intoxikaci oxidem uhelnatým je dobré nepodceňovat* [online]. [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/intoxikaci-oxidem-uhelnatym-je-dobre-nepodcenovat/>

Ministerstvo životního prostředí, 2019. *Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility: NAP CM 2019* [online]. [cit. 2023-03-24]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/zpracovatelsky-prumysl/automobilovy-prumysl/aktualizace-narodniho-akcniho-planu-ciste-mobility--254445/>

Ministerstvo životního prostředí, 2022. *MŽP pro energetickou nezávislost: 600 milionů na nákup elektromobilů a aut na vodík nejen pro obce* [online]. [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_20220601-MZP-pro-energetickou-nezavislost-600-milionu-na-nakup-elektromobilu-a-aut-na-vodik-nejen-pro-obce

ORLEN Unipetrol, 2023. *Tiskové zprávy* [online]. [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: https://www.orlenunipetrol.cz/cs/Media/TiskoveZpravy/Stranky/20230310-TZ_ORLEN_Benzina-H2-Praha-Barrandov-CZ.aspx

Pin City, 2023. *Město Hodonín* [online]. [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://hodonin.pincity.cz/>

Race Fans, 2018. *Tyre Blisters On a Mercedes, Circuit de Catalunya* [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.racefans.net/2018/03/13/tyre-blisters-shows-fl-teams-are-trying-to-influence-pirelli-vettel/motor-racing-formula-one-testing-test-two-day-4-barcelona-spain-283/>

Reglobal, 2021. *Hydrogen Bus Deployment in the US* [online]. [cit. 2023-01-21]. Dostupné z: <https://reglobal.co/hydrogen-bus-deployment-in-the-us/>

SANKIR, Mement a SANKIR, Nurad D., 2018.1. vydání. *Hydrogen Storage and Technologies*. Beverly: Wiley-Scrivener. ISBN 978-1-119-45988-0

SOCHOR, Jan, 2022. *Škoda Group představila vodíkový autobus s dojezdem až 350 km* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.hytep.cz/o-vodiku/aktuality/novinky/skoda-group-predstavila-vodikovy-autobus-s-dojezdem-az-350km>

Sustainable Bus, 2023. *31 New Fuel Cell Buses for RVK Wesseling to be Served Only by Hydrogen Vehicles (Solaris-Made)* [online]. [cit. 2023-01-21]. © Copyright 2012–2023. Dostupné z: [31 new fuel cell buses for RVK. Wesseling to be served only by hydrogen vehicles \(Solaris-made\) \(sustainable-bus.com\)](https://www.sustainable-bus.com/31-new-fuel-cell-buses-for-rvk-wesseling-to-be-served-only-by-hydrogen-vehicles-solaris-made/)

Svaz měst a obcí České republiky, 2015. *Analýza činnosti dobrovolných svazků obcí v území správního obvodu ORP Hodonín* [online]. [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://1url.cz/mrxde>

ŠKÁCHOVÁ, H. a L. VLASÁKOVÁ, 2022. *ČHMU: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2021* [online]. Praha [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/21groc/gr21cz/21_04_8_CO_cz_v1.pdf

Toyota.cz, 2023. *Modely – Toyota Mirai, 2022*. [online]. [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://www.toyota.cz/nova-auta/mirai>

ÚJV, 2021. *Regionální vodíkové vlaky na českých železnicích – Projekt TO01000324* [online]. [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: [https://www.ujv.cz/cs/produkty-a-sluzby/veda-a-vyzkum/prehled-dotacnich-a-vyzkumnych-projektu/regionalni-vodikove-
vlaky-na-ceskych-zeleznicich.-projekt-to01000324-11779](https://www.ujv.cz/cs/produkty-a-sluzby/veda-a-vyzkum/prehled-dotacnich-a-vyzkumnych-projektu/regionalni-vodikove-
vlaky-na-ceskych-zeleznicich.-projekt-to01000324-11779)

Umap, 2023. *Mapa JMK* [online]. [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://umap.openstreetmap.fr/en/>

Úřední věstník Evropské unie, 2007. *Access to European Union Law* [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32007R0715&from=EN>

Úsek kvality ovzduší, 2021. *ČHMI: Kvalita ovzduší v regionech České republiky* [online]. [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://info.chmi.cz/rocnka/ko2020/5.php>

VAN HOOL, 2022. *Hydrogen* [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.vanhool.com/en/vehicles/public-transport/hydrogen>

Veronica – Ekologický institut, 2023. *Účinky výfukových plynů z automobilů na lidské zdraví* [online]. [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: [https://www.veronica.cz/ucinky-
vyfukovych-plynu-z-automobilu-na-lidske-zdravi](https://www.veronica.cz/ucinky-vyfukovych-
plynu-z-automobilu-na-lidske-zdravi)

VĚŽNÍKOVÁ, Michaela, 2011. *Vliv automobilové dopravy na kvalitu ovzduší* [online]. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: [Vliv automobilové dopravy na kvalitu ovzduší – Michaela VĚŽNÍKOVÁ \(theses.cz\)](https://theses.cz/v/vzknk/vliv-automobilove-dopravy-na-kvalitu-ovzdu-si)

VLK, František, 2004. *Soudní inženýrství: Alternativní pohony motorových vozidel* [online]. Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství Ústav dopravní techniky [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-04-212-224.pdf>

VOJÁČEK, Antonín, 2019. *Automatizace HW: Kvalita vzduchu v uzavřených místnostech - 5. Co jsou PM částice?* [online]. [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: [https://automatizace.hw.cz/kvalita-vzduchu-v-uzavrenych-mistnostech-5-co-jsou-pm-
castice.html](https://automatizace.hw.cz/kvalita-vzduchu-v-uzavrenych-mistnostech-5-co-jsou-pm-
castice.html)

Web Archive, 2009. *SOR* [online], [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20090228181649/http://sor.cz/site/mezimestsky-autobus-sor-cn-12>

WRIGHT, 2023. *Our Buses* [online]. [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: <https://wrightbus.com/>

Zákony pro lidi, 2023. *Sbírka zákonů, úplné znění č. 435/2006 Sb.* [online]. [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-435#>

ZHANG, Guoqiang, 2020. *A Solution to Renewable Hydrogen Economy for Fuel Cell Buses – A Case Study for Zhangjiakou in North China* [online]. 14603-146013 [cit. 2023-01-21]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.03.206>

ZOHURI, Bahman, 2018. *Hydrogen Energy: Challenges and Solutions for a Cleaner Future*. Cham: Springer. ISBN 978-3-319-93460-0

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle (Elektromobily na palivové články)
FCEB	Fuel Cell Electric Bus (Vodíkové autobusy)
MHD	Městská hromadná doprava
ICEV	Internal Combustion Engine Vehicle (automobily se spalovacím motorem)
JIVE	Joint Initiative for hydrogen Vehicles across Europe (Vodíková iniciativa pro automobily v Evropě)
C2G	Craddle to Grave (Emise od „kolébky do hrobu“)
Light-Duty	Lehká vozidla, osobní vozidla
Heavy-Duty	Těžká vozidla určena na větší pracovní zátěž, nákladní auta
ORP	Obec s rozšířenou působností
TZL	Tuhé znečišťující látky, prach
SO ₂	Oxid siřičitý
NO _x	Oxidy dusíku
CO	Oxid uhelnatý
TOC	Celkový organický uhlík
PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky
PHEVS	Hybridní elektrické vozidlo s nutností dobíjení
LCA	Life Cycle Assessment (Životní cyklus produktu)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Počet nově registrovaných autobusů (Čistá doprava, 2021)	13
Obrázek 2 Parametry autobusu Škoda H'City (Hytep, 2022)	14
Obrázek 3 Vodíkové plnicí stanice v Kalifornii (California Energy Commission, 2022) ..	16
Obrázek 4 Podíl dopravy na celkovém znečištění ovzduší [%] (MŽP,2021).....	20
Obrázek 5 Podíl dopravy na celkovém znečištění ovzduší [%] (MŽP, 2021).....	21
Obrázek 6 Index vývoje emisí z dopravy [%] (MŽP, 2021)	21
Obrázek 7 Index vývoje emisí z dopravy [%] (MŽP, 2021)	22
Obrázek 8 Přehledné zobrazení metod výroby vodíku (Lipman, 2019).....	25
Obrázek 9 Predikce počtu FCEV v ČR do roku 2030 (MŽP, 2019)	26
Obrázek 10 Stupeň provozu v JMK (Dopravníinfo, 2023)	33
Obrázek 11 Trasa Hodonín – Břeclav (Dopravníinfo, 2023)	34
Obrázek 12 Hodonín 20.2.2023 v 10:00 (Dopravníinfo, 2023).....	35
Obrázek 13 Hodonín 20.2.2023 ve 12:00 (Dopravníinfo, 2023).....	36
Obrázek 14 Hodonín 20.2.2023 v 16:00 (Dopravníinfo.cz)	37
Obrázek 15 Přehledná mapa ORP Hodonín (Smocr, 2021)	38
Obrázek 16 Provázanost dopravní infrastruktury v oblasti Hodonína (Umap, 2023)	40
Obrázek 17 Irisbus Crossway LE 12 M (Autoline, 2023)	42
Obrázek 18 Autobus SOR CN 12 (ČSAD, 2023).....	43
Obrázek 19 Vodíkový autobus Škoda H'CITY (České noviny, 2022).....	50
Obrázek 20 Vodíkový autobus Caetano H2. (Caetanobus, 2022)	51
Obrázek 21 Vodíkový autobus od společnosti Hyundai (Hyundai, 2023)	52
Obrázek 22 Autobus A12 od společnosti Van Hool (Van Hool, 2022)	52
Obrázek 23 Dvoupodlažní verze autobusu Hydroliner (Wright Bus, 2022)	54
Obrázek 24 Opatření pneumatik závodního vozu (Racefans, 2018)	55
Obrázek 25 Nástroj na měření pevných částic v reálném čase (Emissions Analytics, 2023)	56
Obrázek 26 Zpříšňující prvky emisní normy Euro 7 (Evropská komise, 2023).....	58
Obrázek 27 Porovnání velikosti částic PM10 a PM2,5 s lidským vlasem (Automatizace, 2019)	62
Obrázek 28 SWOT analýza vodíku (vlastní zdroj).....	65
Obrázek 29 Graf strategií SWOT (vlastní zdroj).....	66
Obrázek 30 Diagram příčin a následků (vlastní zdroj).....	67
Obrázek 31 Ilustrační zobrazení spotřeby v autobuse Caetano (Caetanobus, 2023).....	76

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Bezemisní autobusy v USA (Reglobal, 2021).....	15
Tabulka 2 Silné a slabé stránky vodíku (Liu, 2018).....	23
Tabulka 3 Dotační programy v Číně (Liu, 2018).....	28
Tabulka 4 Množství a rozdělení autobusů v ORP Hodonín 20.2.2023 (Registr vozidel, 2023)	39
Tabulka 5 Parametry autobusu 1 (ČSAD, 2023).....	41
Tabulka 6 Parametry autobusu 2 (ČSAD, 2023).....	42
Tabulka 7 Parametry autobusu 3 (SOR, 2023).....	42
Tabulka 8 Imisní limity pro ochranu ovzduší (ČHMU, 2012).....	45
Tabulka 9 Data z měřicí stanice Hodonín z let 2019-2021 (CHMU, 2023).....	47
Tabulka 10 Data z měřicí stanice Hodonín z let 2016-2018 (CHMU, 2023).....	47
Tabulka 11 Obsah oxidů dusíku ze stanice Mikulov-Sedlec, roční průměr 2019-2021 (CHMU, 2023).....	48
Tabulka 12 Hmotnost jednotlivých modelů autobusů (vlastní, 2023).....	58
Tabulka 13 SWOT analýza na vodík (vlastní zdroj).....	63
Tabulka 14 Specifikace vodíkových autobusů (vlastní zdroj).....	68
Tabulka 15: Varianty autobusů (vlastní zdroj).....	69
Tabulka 16 Kritéria pro porovnání (vlastní zdroj).....	69
Tabulka 17 Matice Y (vlastní zdroj).....	69
Tabulka 18 Matice Y' (vlastní zdroj).....	70
Tabulka 19 Matice R (vlastní zdroj).....	70
Tabulka 20 Metoda váženého součtu, pořadí variant (vlastní zdroj).....	70
Tabulka 21 Ekonomická stránka projektu dle aktuální situace cen na vodíkovém trhu (vlastní zdroj).....	76
Tabulka 22 Norma EURO 5, mezní hodnoty (Úřední věstník Evropské unie, 2007).....	78
Tabulka 23 Srovnání emisí autobusů (vlastní zdroj).....	79