

**Vysoká škola logistiky o.p.s.**

**Využití autobusů s vodíkovým pohonem  
v městské dopravě**

(Bakalářská práce)



**Vysoká škola  
logistiky**  
o.p.s.

# Zadání bakalářské práce

student	<b>Marián Líška</b>
studijní program obor	Logistika Dopravní logistika

Vedoucí Katedry bakalářského studia Vám ve smyslu čl. 22 Studijního a zkušebního řádu Vysoké školy logistiky o.p.s. pro studium v bakalářském studijním programu určuje tuto bakalářskou práci:

Název tématu: **Využití autobusů s vodíkovým pohonem v městské dopravě**

Cíl práce:

Zhodnotit vodíkové technologie v autobusové městské a příměstské dopravě a prostřednictvím kalkulace nákladů porovnat náklady s autobusy na klasický naftový pohon.

Zásady pro vypracování:

Využijte teoretických východisek oboru logistika. Čerpejte z literatury doporučené vedoucím práce a při zpracování práce postupujte v souladu s pokyny VŠLG a doporučeními vedoucího práce. Části práce využívající neveřejné informace uveďte v samostatné příloze.

Bakalářskou práci zpracujte v těchto bodech:

Úvod

1. Analýza a charakteristika vodíkového pohonu, výhody a nevýhody, skladování
  2. Evropské zkušenosti s vodíkovým pohonem v městské hromadné dopravě
  3. Metodika kalkulace nákladů v dopravě
  4. Ekonomické zhodnocení vodíkového pohonu v městské hromadné dopravě, doporučení
- Závěr

Rozsah práce: 35 – 50 normostran textu

Seznam odborné literatury:

DUCHOŇ, Bedřich. Inženýrská ekonomika. Praha: C. H. Beck, 2007. ISBN 978-80-7179-763-0

KUNST, Jaroslav, EISLER, Jan a ORAVA, František. Ekonomika dopravního systému. Praha Oeconomica, 2011. ISBN 978-80-245-1759-9

POSTRÁNECKÝ, Michal, SVÍTEK, Miroslav a kol. Města budoucnosti, Praha: Nadatur, 2018. ISBN 978-80-7270-058-5.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Zdeněk Říha, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce:

31. 10. 2020

Datum odevzdání bakalářské práce:

6. 5. 2021

Přerov 31. 10. 2020



Ing. et Ing. Iveta Dočkalíková, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D.  
rektor

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a že jsem ji vypracoval samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná a že jsem v práci neporušil autorská práva ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o autorském právu, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

Prohlašuji, že jsem byl také seznámen s tím, že se na mou bakalářskou práci plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 60 – školní dílo. Beru na vědomí, že Vysoká škola logistiky o.p.s. nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro pedagogické, vědecké a prezentační účely školy. Užiji-li svou bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Vysokou školu logistiky o.p.s.

Prohlašuji, že jsem byl poučen o tom, že bakalářská práce je veřejná ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 47b. Taktéž dávám souhlas Vysoké škole logistiky o.p.s. ke zpřístupnění mnou zpracované bakalářské práce v její tištěné i elektronické verzi. Tímto prohlášením souhlasím s případným použitím této práce Vysokou školou logistiky o.p.s. pro pedagogické, vědecké a prezentační účely.

Prohlašuji, že odevzdaná tištěná verze bakalářské práce, elektronická verze na odevzdaném optickém médiu a verze nahraná do informačního systému jsou totožné.



V Přerově, dne 06. 05. 2021

.....

podpis



## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval doc. Ing. Zdeňku Říhovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce a poskytování informačních podkladů. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině, a to hlavně přítelkyni Věře za podporu a pochopení při psaní této práce.

## **Anotace**

Tato bakalářská práce se věnuje využití autobusů s vodíkovým pohonem v městské dopravě a ekonomickému porovnání tohoto provozu s provozem autobusů na dieselový pohon. První část bakalářské práce se bude věnovat vodíku jako takovému, dále se bude analyzovat a charakterizovat vodíkový pohon, budou rozebrány výhody a nevýhody vodíkového pohonu. V práci bude popsán způsob skladování vodíkového paliva. V druhé části práce budou popsány evropské zkušenosti s vodíkovým pohonem v městské hromadné dopravě. V další části práce bude popsána metodika nákladů v dopravě a na závěr bude zhodnoceno ekonomické hledisko vodíkového pohonu autobusů v městské hromadné dopravě s porovnáním autobusů na dieselový pohon.

## **Klíčová slova**

vodíkový pohon, vodík, alternativní doprava, autobusová doprava, městská doprava

## **Annotation**

This Bachelor thesis is about the use of buses with hydrogen propulsion in public transport and economic comparison of hydrogen and diesel buses. First part of this thesis focuses on hydrogen itself, then analysis and characteristics of hydrogen propulsion, its advantages and disadvantages. The way of storing hydrogen fuel will be explained. In second part, experiences with hydrogen fuel in public transport in Europe will be described. Next part of this thesis describes methodology of costs in transport and in final part, hydrogen fuel and diesel fuel buses will be compared and evaluated from economic point of view.

## **Keywords**

hydrogen drive, hydrogen, alternative transport, bus transport, city transport.

# Obsah

Úvod.....	9
1	Vodíkový pohon ..... 11
1.1	Charakteristika vodíku..... 11
1.2	Vodíkové technologie pro čistou mobilitu ..... 11
1.3	Výroba vodíku ..... 13
1.4	Palivový článek ..... 15
1.4.1	Historie ..... 15
1.4.2	Princip palivového článku ..... 16
1.5	Typy palivových článků ..... 17
1.5.1	Alkalický palivový článek (AFC – alkaline fuel cell)..... 17
1.5.2	Palivový článek s polymerním elektrolytem (PEMFC – polymer electrolyte membrane fuel cell) ..... 18
1.5.3	Palivový článek s kyselinou fosforečnou (PAFC – phosphoric acid FC) . 18
1.5.4	Palivový článek s roztavenými uhličitany ( MCFC – molten carbonate fuel cell)..... 19
1.5.5	Palivové články s tuhými oxidy ( SOFC – solid oxide fuel cell) ..... 19
1.6	Skladování vodíku ..... 19
1.6.1	Skladování vodíku v plynném stavu..... 20
1.6.2	Skladování vodíku v kapalném stavu ..... 20
1.6.3	Skladování vodíku ve vozidlech v tlakových láhvích ..... 21
2	Vodík v městské hromadné dopravě ..... 22
2.1	Potřeba podpory vodíkové dopravy..... 22
2.1.1	Projekt High V.LO-City ..... 23
2.1.2	Projekt JIVE a JIVE 2 ..... 24
2.1.3	Další evropské projekty..... 25
2.2	Vozidlové parky v evropských městech ..... 28

2.2.1	Aberdeen.....	29
2.2.2	Wuppertal, Kolín nad Rýnem.....	30
2.2.3	Londýn.....	32
2.2.4	Groningen.....	33
3	Metodika kalkulace nákladů v dopravě.....	35
3.1	Pojetí nákladů.....	35
3.2	Rozdělení nákladů.....	36
3.2.1	Přímé náklady.....	36
3.2.2	Režijní náklady.....	37
3.3	Určení nákladů v dopravě matematicky.....	38
4	Srovnání provozu autobusů na dieselový a vodíkový pohon.....	41
4.1	Postup řešení.....	41
4.2	Vyhodnocení dat.....	42
4.3	Ekonomické vyhodnocení.....	43
4.3.1	Cíl ekonomického vyhodnocení.....	43
4.3.2	Určení vstupních údajů.....	43
4.3.3	Určení vstupních hodnot.....	44
4.4	Shrnutí.....	46
	Závěr.....	48
	Seznam zdrojů.....	50
	Seznam grafických zdrojů.....	52
	Seznam zkratk.....	53

## Úvod

V souvislosti s růstem technického pokroku a se zvyšováním životní úrovně obyvatel rostou energetické nároky. Dopravní sektor, který se neustále rozrůstá, se na celkové spotřebě energie podílí významným způsobem. V současné době je pořád nejpoužívanějším zdrojem energie v dopravě bezpochyby ropa a její produkty. Zaměření se na ropu jako primární zdroj energie v dopravě je ovšem do budoucna riskantní. Ropa je samozřejmě nerostná surovina a její zásoby se těžbou snižují. Vzhledem k této skutečnosti zároveň roste její cena a následně roste cena i fosilních paliv, která se z ní vyrábějí. Dalším a určitě významnějším faktorem pro životní prostředí při používání fosilních paliv v dopravě je produkce oxidu uhličitého. Dle současné celosvětové politiky se stále zavádějí přísnější emisní normy pro výrobce dopravních prostředků s cílem snižování emisí produkovaných v dopravě. Proto se současné trendy zaměřují na využití alternativních paliv. S velikou pravděpodobností se právě vodík může stát palivem budoucnosti. Vodík je nejrozšířenějším prvkem ve vesmíru a třetí nejrozšířenější prvek na Zemi. Jeho množství je tedy nevyčerpatelné na rozdíl od ropy. Spalováním vodíku na rozdíl od spalování fosilních paliv ve spalovacím motoru se nevytváří žádné emise. energii z vodíku na pohon vozidel můžeme ale kromě spalování přímo ve spalovacím motoru získávat i pomocí palivových článků, které mají vyšší účinnost. A v porovnání s jinými alternativními palivy mají palivové články nejvyšší účinnost. Tyto palivové články generují elektrický proud, který pohání elektromotor bez jakýchkoliv emisí. Vodík jako alternativní palivo dopravních prostředků bude ale jen tak ekologicky čistý, jak bude ekologicky čistá jeho samotná výroba. Další věcí, kterou je potřeba řešit, aby se mohl vodík jako palivo pro dopravu v budoucnu využívat, je to, zda má být dřív budována chybějící infrastruktura, nebo se mají nakupovat vozidla na vodíkový pohon. Žádný dopravce si přece nekoupí autobus, který nebude mít kde doplňovat palivo, na druhou stranu je nutno říct, že nikdo nebude investovat do stavění plnicích stanic, když tam nebude nikdo tankovat palivo. Je proto zřejmé, že tyto dvě věci nemohou bez sebe fungovat a musejí se budovat současně. V současné době jsou obě tyto věci finančně značně náročné. Vodík ale i přes to musíme považovat za jednu z nejpravděpodobnějších možností, jak zabezpečit bezemisní, ale přitom dobře fungující veřejnou dopravu. Vodíková mobilita může pořád znít jako vize dopravy daleké budoucnosti. Je nutno připomenout, že vodíkový autobus je ve své podstatě elektro autobus. Rozdílem je jen to,

že vodík využívá jako zdroj pro výrobu elektrické energie. Takže místo bateriových článků, které jsou v klasickém elektro autobusu, jsou ve vodíkovém nádrže na vodík. Vodíkové autobusy proto nesmíme chápat jako konkurenci pro elektro autobusy, ale jako další možnost v dopravě pro bezemisní technologii pohonu autobusů. Právě současná potřeba bezemisního provozu stojí za faktem, že v Evropě dnes jezdí více než 500 vodíkových vozidel hromadné dopravy a vodíkový pohon se testuje nebo vyvíjí i v tramvajích, vlacích, malých lodích nebo trajektech. Všechna tato vozidla hromadné dopravy dnes jezdí za významné finanční podpory států nebo samospráv na území, po kterých jezdí.

V první části této bakalářské práce bude popsán vodík jako takový, dále bude analyzován a charakterizován vodíkový pohon a budou uvedeny výhody a nevýhody vodíkového pohonu. Bude popsán způsob skladování vodíkového paliva. V druhé části budou konstatovány evropské zkušenosti s vodíkovým pohonem v městské hromadné dopravě. V další části práce bude popsána metodika nákladů v dopravě a na závěr bude z ekonomického hlediska zhodnocen vodíkový pohon v autobusech hromadné dopravy a porovnán s provozem autobusů na dieselový pohon.

# 1 Vodíkový pohon

Vodíkový pohon patří mezi alternativní technologie v dopravě. Mohl by v budoucnu nahradit hlavní technologii v dopravě, která je využívána dnes, a to spalovací benzínový či naftový pohon. Tyto tradiční fosilní zdroje bude v budoucnu nutno nahradit ze dvou důvodů, a to jak pro vyčerpatelnost fosilních zdrojů, tak i pro snížení emisí, které doprava produkuje. Vodík je v podstatě nevyčerpatelný zdroj zastoupený v mnoha podobách.

## 1.1 Charakteristika vodíku

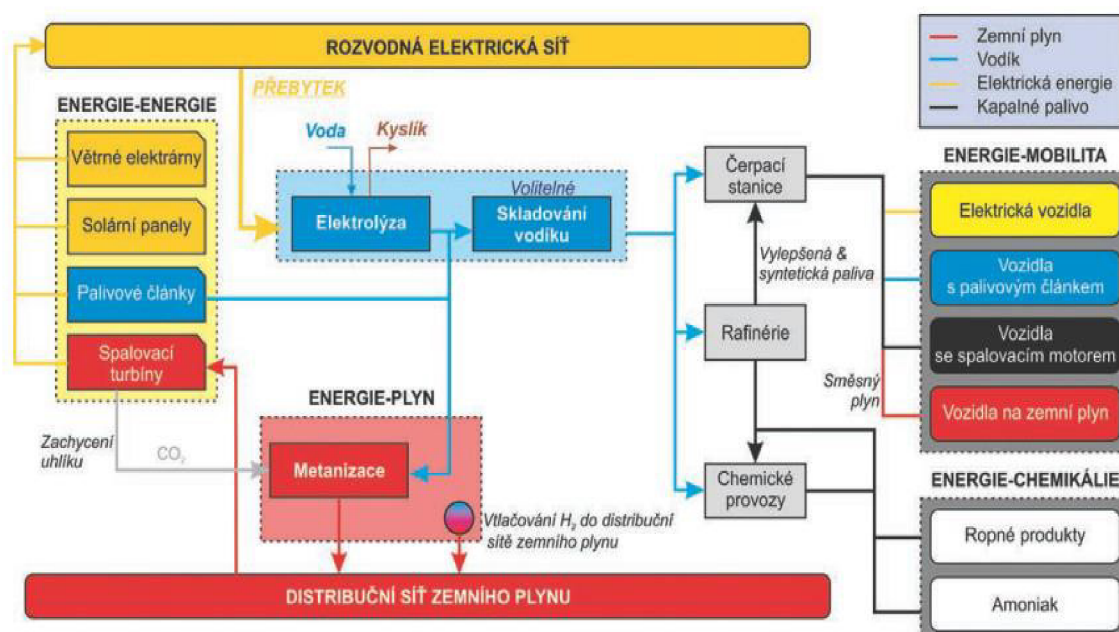
Vodík je chemický prvek označovaný písmenem H. Je to lehký plyn, bez chuti, zápachu a barvy. Jeho latinský název je hydrogenium. Je hořlavý, přičemž samotné hoření nepodporuje. Vytváří sloučeniny se všemi prvky periodické soustavy kromě vzácných plynů, zejména pak s uhlíkem, kyslíkem, sírou a dusíkem, které tvoří základní stavební jednotky života na Zemi. Byl objevený v roce 1766 anglickým fyzikem a chemikem Henrym Cavendishem. Je nejlehčím prvkem periodické soustavy prvků a nejrozšířenějším chemickým prvkem ve vesmíru. Za běžných podmínek se však atomární vodík na naší planetě nevyskytuje, protože je velice nestabilní. Mezi jeho nejznámější sloučeninu patří voda. Jednou z největších výhod spalování vodíku je nulová produkce skleníkových plynů, což ho předurčuje k energetickému využití spalováním. V přírodě se dále vyskytuje jako směs tří izotopů. Je základním stavebním prvkem celého vesmíru. Podle současných měření se podílí ze 70 % na hmotě a až z 90 % na počtu atomů přítomných ve vesmíru. [1]

## 1.2 Vodíkové technologie pro čistou mobilitu

Čistá mobilita na základě vodíkových technologií je v dnešní době založena převážně na využití vodíku v palivovém článku. Palivový článek je zařízení, ve kterém dochází k reakci přiváděného vodíku a vzdušného kyslíku, přičemž vzniká elektrická energie, což znamená, že je to elektrochemické zařízení. Tato elektrická energie se pak využívá v elektromotoru na pohon vozidla. Z tohoto důvodu můžeme vodíkový pohon považovat za podskupinu pohonu elektrického. Je ale i pravdou, že vodík můžeme využívat i ve spalovacích motorech přímo jako palivo. Výrobci aut a autobusů ale vzhledem k nižší

účinnosti takového pohonu v dnešní době do vývoje této technologie neinvestují a předpokládá se, že nebudou ani vyvíjet úsilí pro její rozvoj. Dále je důležité zdůraznit, že využití palivového článku v porovnání s bateriovým pohonem elektromobilu přináší podstatné výhody. První a nejdůležitější výhodou je vyšší dojezd na jedno natankování, další výhodou je čas na doplnění vodíku, tedy paliva, který se dá srovnat s časem potřebným na tankování dnešních běžných kapalných pohonných hmot. Při dnešní globální snaze o snížení emisí v dopravním sektoru hraje významní roli ve prospěch palivových článků na vodík v porovnání se spalovacím motorem úplná eliminace veškerých škodlivin díky tomu, že jediným produktem reakce vodíku a kyslíku v palivovém článku je čistá voda. Z tohoto faktu jasně vyplývá, že vodíkové palivové články mají šanci se uplatnit jak v individuální dopravě, tak v dopravě hromadné a nákladní, protože existují různé režimy, které jsou jen těžko zajistitelné pomocí bateriových elektromobilů. Samozřejmě že vodíkové pohony jsou více preferované také tam, kde jsou zvýšené požadavky na kvalitu ovzduší, protože dopravní sektor jako takový je významným producentem znečišťujících látek a skleníkových plynů. [2]

Vodíková mobilita patří do širšího celku vodíkové ekonomiky. Tento celek propojuje sektor energetiky a dopravy. Do obou těchto celků přináší značné výhody. Výhody do oblasti dopravy již byly uvedeny a hlavní výhodou v oblasti energetiky je stabilizace celé sítě.



Obr. 1.1 Rozšířené schéma vodíkové ekonomiky

Zdroj: [2].



Propojení vodíkové mobility s energetikou přináší i další potenciální výhody. Oproti dopravě, která je založená na fosilních palivech nebo zemním plynu umožňuje omezit závislost na dovozu ropy a ropných produktech. Vozidla s pohonem na palivové články jsou lokálně bezemisní. Vodíková mobilita však přináší i další pozitivní efekt oproti většině dostupných pohonů z pohledu započtení emisí, které vznikají při výrobě a distribuci paliva. Dle údajů amerického úřadu pro energii US DOE je energetická náročnost vodíkové mobility o 37 % nižší oproti vozidlům se spalovacím motorem i v případě využívání vodíku, který je vyroben parním reformingem zemního plynu. Zároveň v tomto případě dochází ke snížení emisí oxidu uhličitého o 44 %. [2]

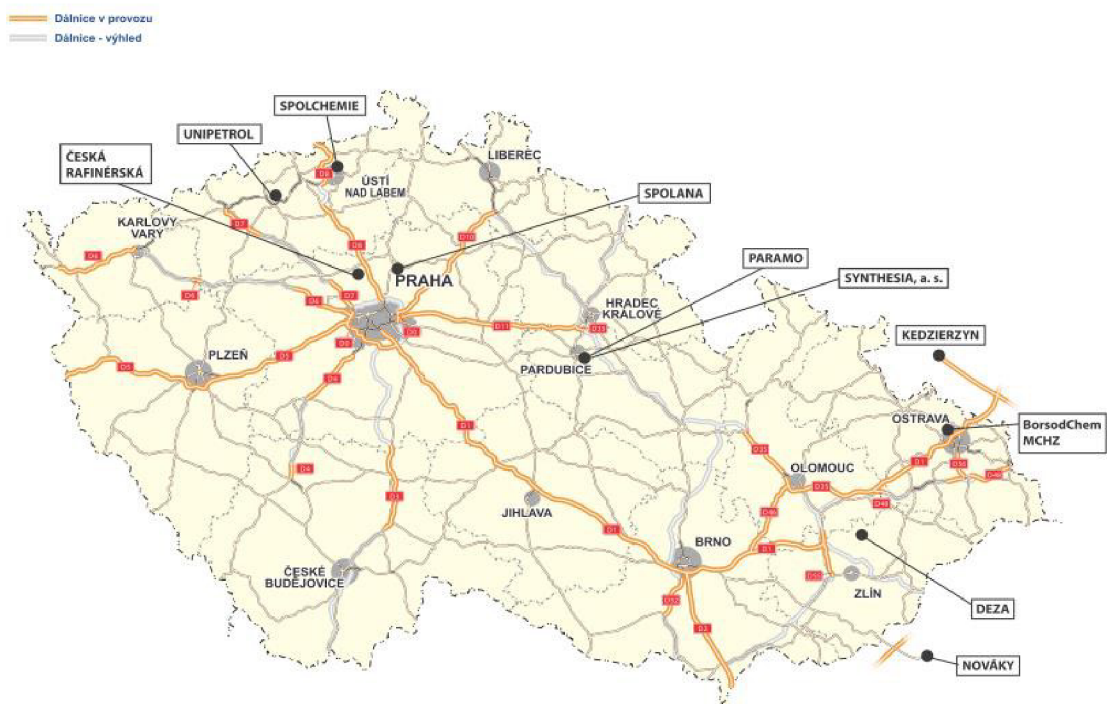
### 1.3 Výroba vodíku

Manipulace a nakládání s vodíkem je z hlediska průmyslové praxe oborem, který je dobře zvládnutý a má dlouhou historii. Na území České republiky se svítiplyn, který obsahuje značné množství vodíku, ale též i jedovatý oxid uhelnatý, využíval od druhé poloviny 19. století až do roku 1996. V posledních letech lze sledovat postupný nárůst produkce vodíku meziročně asi o 5 %, přičemž v dalších letech se předpokládá meziroční nárůst ještě větší. Vodík je možné získávat nebo vyrábět mnoha způsoby. Je však důležité sledovat, jak je jeho výroba energeticky náročná a jaký má samotná výroba vliv na životní prostředí. Protože z pohledu vodíku jako čistého paliva je právě tento vliv nejdůležitější. Drtivá většina vodíku, asi 96 % je vyráběna z fosilních paliv, především pak parním reformingem zemního plynu. Hlavní výhodou tohoto procesu je značná jednoduchost, dlouholeté zkušenosti z provozní praxe, tím pádem relativně příznivá ekonomika. Na druhou stranu, všechny tyto procesy produkují nějaké množství skleníkových plynů. Z těchto důvodů by byla výroba vodíku z fosilních paliv v dopravním sektoru s ohledem na SMĚRNICI EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2019/1161 ze dne 20. června 2019, ve které se Unie zavázala k udržitelnému, konkurenceschopnému, bezpečnému a dekarbonizovanému energetickému systému, do budoucna neobhajitelná. Zbylá 4 % roční výroby vodíku jsou získávána tzv. alkalickou elektrolýzou vody. Tato metoda je založena na elektrochemickém štěpení vazby v molekule vody pomocí elektrického napětí. Výhodou jsou nulové emise oxidu uhličitého při samotném procesu výroby. To znamená, že na celkovou produkci oxidu uhličitého při této výrobě vodíku má zásadní vliv způsob získání použité elektrické energie. Takže za nejméně emisní (bezemisní) vodík můžeme považovat vodík vyrobený alkalickou elektrolýzou za použití

elektrické energie, která byla vyrobena z jaderné energie, nebo energie z obnovitelných zdrojů. Jsou ale i průmyslové podniky, které vodík vyrábějí jako vedlejší produkt své hlavní výroby.

Na území České republiky je zhruba deset průmyslových podniků, které se výrobou vodíku zabývají, ať už jako hlavním, nebo vedlejším produktem své výroby, a mohly by tento vodík poskytnout na trh. Jedním z důležitých výrobců vodíku je petrochemický holding Unipetrol, který zároveň plánuje budování veřejných plnicích stanic na vodík v rámci společnosti Benzina, která pod něj patří, kde by chtěl své volné kapacity vodíku prodávat. Tyto čerpací stanice na vodík mají vzniknout na stávajících čerpacích stanicích v Praze, Litvínově a Brně. První z nich by chtěli otevřít už letos na jaře. [3]

Dle názoru České vodíkové technologické platformy je využití volných výrobních kapacit vodíku a vodík, který je vyráběn jako vedlejší produkt, důležitým krokem pro rozvoj vodíkové mobility. Na využití těchto kapacit je důležitá rychlá dostupnost a relativně nízká cena vodíku. Po dostatečném rozvinutí infrastruktury plnicích stanic a vozového parku, popřípadě úplného využití stávajících kapacit na výrobu vodíku, je pak potřeba hledat takový zdroj vodíku, který umožní co nejvýraznější snížení emisí skleníkových plynů. [2]



Obr. 1.2 Zdroje vodíku v ČR v kontextu sítě

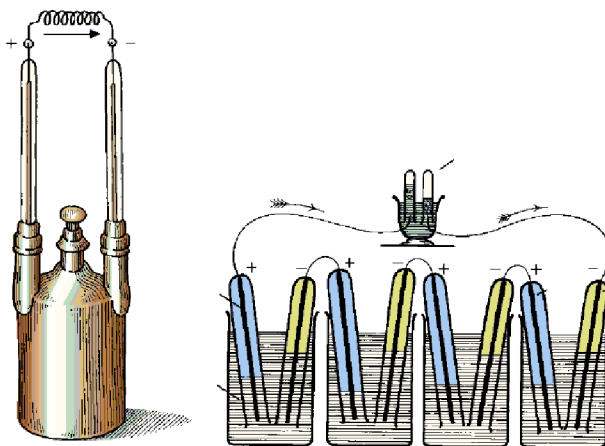
Zdroj: [2].

## 1.4 Palivový článek

Čistý, ekologický a dlouhodobě udržitelný pohon v dopravě. To je slovní spojení, které v poslední době rezonuje v oblasti dopravy velmi často. Je ironií, že na jednu z takových technologií nemusíme čekat do budoucna, protože tato technologie byla vyvinuta téměř před 180 lety, kdy byl objeven princip elektrochemického palivového článku. Toto zařízení za pomoci vodíku a kyslíku vytváří elektrickou energii, která pohání elektromotor ve vozidle.

### 1.4.1 Historie

Koncepci prvního palivového článku vytvořil v roce 1839 britský soudce, vědec a vynálezce sir William Robert Grove, který zjistil, že je možné vyrábět elektřinu procesem inverzním k elektrolýze vody.



Obr. 1.3 Palivový článek W. R. GROVEA

Zdroj: [4].

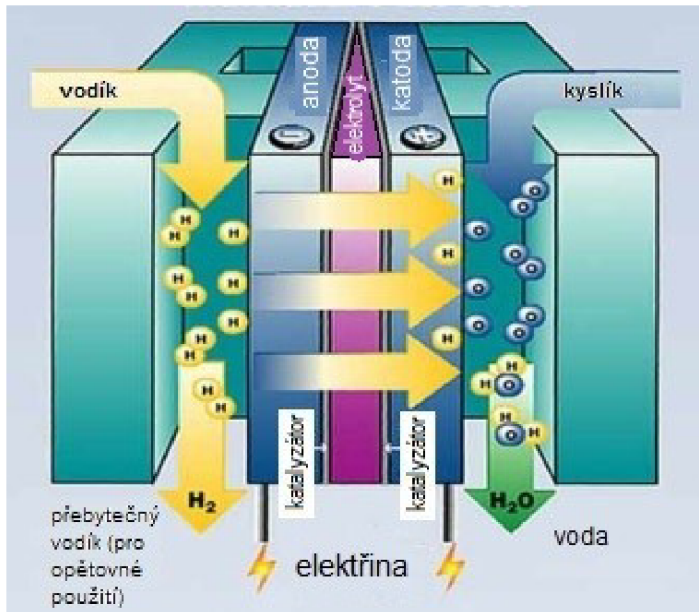
Jak je z obrázku zřejmé, byla to spíše laboratorní kuriozita. Napětí takového článku bylo přibližně 1 V. Celé zařízení neprodukovalo dostatek elektřiny na to, aby bylo použitelné v průmyslu. Je ale skutečností, že ještě před ním v roce 1807 sestavil inženýr Francois Issac de Rivaz ve Švýcarsku vozidlo, které se pohybovalo díky vodíku, který byl ale používán přímo ve spalovacím motoru jako palivo. V roce 1889 poprvé použili termín palivový článek Ludwig Mond a Charles Langer, kteří se pokusili vytvořit funkční článek pracující se vzduchem a svítiplynem. V roce 1932 pak Dr. Francis Thomas Bacon vyvinul pravděpodobně první úspěšné zařízení s palivovým článkem, kterým byl kyslíko-palivový článek používající niklové elektrody. Byla to levnější alternativa

ke katalyzátorům Monda a Langerera. Kyselý elektrolyt nahradil zásaditým, který sice pracoval stejně jako kyselý, ale neměl korozivní účinky na elektrody. Dr. Francis Thomas Bacon pak v roce 1952 sestrojil se svými spolupracovníky 5 kW systém s palivovým článkem. Tento článek byl schopen pohánět svářečí stroj. [2]

Tohoto úspěchu si všimla společnost Pratt & Whitney a od Bacona licenci na jeho patent v roce 1959 odkoupila a začala vyrábět palivové články pro mise Apollo, kde sloužily jako zdroj elektrické energie a pitné vody pro astronauty. Ve stejném roce postavil Harry Ihring první vozidlo s palivovým článkem. Byl to traktor, který měl dvacet koňských sil. [2]

#### **1.4.2 Princip palivového článku**

Palivový článek je elektrochemické zařízení, ve kterém se za pomoci sloučení vodíkového paliva s kyslíkem vytvoří elektřina, teplo a voda. Vodík se do článku přivádí z tlakové nádoby a kyslík se odebírá ze vzduchu. Vzhledem k tomu, že zde nedochází ke spalování, neuvolňují se škodlivé emise a jediným vedlejším produktem je čistá voda. V podstatě palivový článek funguje opačně jako elektrolyza. V článku se používají dvě elektrody. První z nich je anoda, neboli záporná elektroda, která přijímá vodík, a druhá z nich je katoda, neboli kladná elektroda, ke které je přiváděn kyslík. Katalyzátor na anodě rozděljuje vodík na kladně nabitě vodíkové ionty a elektrony. Kyslík je ionizovaný a migruje elektrolytem k anodické části, kde se slučuje s vodíkem. Obvyklý palivový článek dává v zátěži 0,6 – 0,8 V. Pro dosažení vyšších napětí se články spojují do sérií. V přeměně uhlíkového paliva na energii je technologie palivových článků dvakrát účinnější než proces spalování. Tento základní princip transformace energie je pro všechny palivové články stejný, jednotlivé typy článků se však liší materiálem elektrod, použitým elektrolytem, pracovní teplotou a konkrétními chemickými reakcemi na katodě a anodě. [5]



Obr. 1.4 Princíp palivového článku

Zdroj: vlastní zpracování podle [5].

## 1.5 Typy palivových článků

Existuje celá řada typů palivových článků, přičemž se rozdělují zejména v závislosti na používaném elektrolytu, který může mít i podobu membrány či keramiky. Dalším kritériem pro dělení článků může být provozní teplota nebo typ používaného paliva.

### 1.5.1 Alkalický palivový článek (AFC – alkaline fuel cell)

Jedná se o nízkoteplotní kyslíko-vodíkový článek s alkalickým elektrolytem. Ten může být tvořen KOH nebo NaOH v koncentracích 35 – 50 %. Operační teplota se nejčastěji pohybuje kolem 60 – 90 °C, článek však může pracovat i při pokojové teplotě. Články využívané v kosmických letech projektu Apollo byly provozovány při teplotě 250 °C. V alkalickém elektrolytu je kinetika kyslíkové redukce podstatně rychlejší než v kyselém prostředí. To spolu s nízkou korozivností umožňuje použití neplatíkových katalyzátorů, což může vést k velkému snížení ceny těchto systémů. Další výhodou je poměrně jednoduchá konstrukce článků.

Naproti tomu velkou nevýhodou je citlivost elektrolytu. Ten v hydroxidech tvoří málo rozpustné uhličitany, což vede ke snižování vodivosti elektrolytu a zanášení pórů, čímž

se zvyšují ztráty. K zamezení tohoto jevu je nutná velká čistota přiváděných plynů. Účinnost AFC se pohybuje kolem 60 – 80 %. [6]

### **1.5.2 Palivový článek s polymerním elektrolytem (PEMFC – polymer electrolyte membrane fuel cell)**

V tomto typu článku se používá polymerní iontoměnicová membrána. Jedná se o polymer s funkčními skupinami kyselin nebo zásad. Je to jeden z nejvyvinutějších a nejběžněji používaných palivových článků. Pohání auta a autobusy, slouží jako přenosný zdroj energie a jako záložní zdroj místo stacionárních baterií v kancelářích. Umožňuje kompaktní provedení a dosahuje vysokého poměru vyrobené energie k hmotnosti. Další výhodou je relativně rychlý náběh při použití vodíku. Soubor těchto palivových článků funguje při relativně nízké teplotě 80 °C a má účinnost 50 %. Nevýhodou jsou vysoké náklady palivového článku tohoto typu a složitý systém regulace vody. Palivový článek obsahuje vodík, kyslík a vodu. Když jsou články suché, musí se voda přidávat, aby se systém nastartoval. Naopak příliš mnoho vody články zaplavuje. Palivové články tohoto typu vyžadují vodík vysoké chemické čistoty. [6]

### **1.5.3 Palivový článek s kyselinou fosforečnou (PAFC – phosphoric acid FC)**

U tohoto palivového článku se jedná o středněteplotní systém, kde je jako elektrolyt použita koncentrovaná kyselina fosforečná. Pracovní teplota se pohybuje v rozmezí 160 – 220 °C. Při nižších teplotách ztrácí kyselina fosforečná iontovou vodivost a tuhne v krystalické podobě. Proto teplota těchto článků nesmí klesnout pod 45 °C. Mezi výhody těchto typů článků patří to, že koncentrovaná kyselina fosforečná účinně brání korozi některých kovů. Rovněž odpadají problémy s vodním managementem. Vyšší teplota zvyšuje reakční rychlost proudotvorných reakcí. Ze stejného důvodu však klesá rovnovážné napětí článku. Na obou elektrodách jsou vyžadovány platinové katalyzátory. Mezi největší nevýhody lze řadit pomalý start článku z důvodu nutnosti předchozího vyhřátí na pracovní teplotu. Proto se tento systém nehodí k mobilním a trakčním aplikacím. Naopak přijatelná cena umožňuje použití v méně obydlených oblastech vzdálených od elektrovedné sítě. Tyto články jsou rovněž méně choulostivé vůči stopám oxidu uhelnatého z konvertovaných paliv. [6]

#### **1.5.4 Palivový článek s roztavenými uhličitany ( MCFC – molten carbonate fuel cell)**

Palivové články s roztavenými uhličitany patří do skupiny vysokoteplotních palivových článků. Tomu odpovídá rozsah pracovních teplot 600 – 700 °C. Jako elektrolyt se používá roztavená směs alkalických uhličitánů. Zpravidla se jedná o směs uhličitánů lithia, draslíku a sodíku, která je umístěna v tuhé porézní keramické matici. Jako palivo lze používat vodík či oxid uhelnatý, v praxi se používá zpravidla směs obou plynů. Ta vzniká například reformací metanu vodní parou. Vzhledem k vysoké pracovní teplotě je možné metan či další paliva dokonce reformovat přímo uvnitř článku za pomoci vodní páry vznikající na anodě. Kinetika reakcí je velice rychlá, a proto je možné na elektrodách používat neplatinové katalyzátory. Výhodou tohoto typu palivového článku je rychlá kinetika elektrodoových reakcí a vzhledem k vysoké teplotě i možnost přímé konverze zemního plynu či jiných druhů uhlikatých paliv. Vysoká teplota však naopak přináší problémy s teplotním pnutím materiálů. Tento typ článku vyžaduje zdroj energie pro vyhřívání článku při startu. To má za následek snížení účinnosti, a zároveň nemožnost okamžitého startu [6].

#### **1.5.5 Palivové články s tuhými oxidy ( SOFC – solid oxide fuel cell)**

Dalším představitelem vysokoteplotních palivových článků jsou palivové články s tuhými oxidy. Pracovní teplota se pohybuje v rozmezí 800 – 1000 °C. To opět umožňuje přímou konverzi uhlikatých paliv. Jako elektrolyt je použit iontově vodivý keramický materiál. Ten se v rozsahu pracovních teplot článku stává vodivým pro ionty kyslíku, kterým umožňuje transport od katody k anodě. Iontová vodivost je při teplotě okolo 1000 °C srovnatelná s vodivostí kapalných elektrolytů. Jako palivo je možné používat vodík. Keramické materiály špatně snášejí opakované změny teplot, což může vést až k jejich praskání. Stejně tak další nevýhody jsou v podstatě shodné s vlastnostmi předchozího typu vysokoteplotního palivového článku. Výhodou článku je, že nevyvolává korozi, eliminuje problémy spojené s kapalným elektrolytem a neklade žádné požadavky na tvar článku. [6]

### **1.6 Skladování vodíku**

Vodík svojí podstatou patří do skupiny nebezpečných plynů, a proto je nutné při jeho skladování, manipulaci a zpracování dbát na přesně nastavené a platné bezpečnostní

předpisy. Tyto předpisy jsou v každé zemi odlišné. Cenově dostupný a energeticky efektivní způsob uskladnění vodíku je klíčový pro budoucnost všech vodíkových technologií. Vodík jako palivo má ze všech paliv nejmenší hustotu a nejnižší bod varu. Tento faktor proto komplikuje jeho skladování. Samotné skladování můžeme rozdělit na konvenční a alternativní. Ke konvenčním technologiím patří především tlakové nádoby pro plynný vodík a kryogenní nádoby pro zkapalněný vodík. Zástupcem alternativních technologií je například skladování v komplexních hydridech uhlíku a jako součást chemických látek. [7]

### **1.6.1 Skladování vodíku v plynném stavu**

Pro skladování se nejčastěji používají ocelové bezešvé lahve z nízkouhlíkatých nebo legovaných chrom-molybdenových ocelí. V ČR jsou nejběžnější 50 l lahve. Největší výrobce tlakových lahví v ČR dokáže vyrobit lahev o objemu 150 l. Pro auta nebo autobusy se obvykle používá kompozitních tlakových nádob. Ty se vyrábějí ve velikostech od desítek litrů až přibližně do 300 l a jsou potaženy tenkou vrstvou kovu, případně speciálního polymeru, který zabraňuje úniku plynu přes strukturu kompozitu. Běžný provozní tlak je 200 nebo 350 bar, v nejnovějších aplikacích se tlak zvýšil na 450 až 700 bar. V laboratorních podmínkách byl odzkoušen tlak 1000 bar, což je současný technologický limit. [7]

### **1.6.2 Skladování vodíku v kapalném stavu**

Kapalný vodík musí být skladován při teplotě  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ . S tímto úzce souvisí jak použití vhodných skladovacích materiálů a bezpečnostních prvků, které jednak zabraňují zvyšování tlaku v nádobách, jednak i vysoké energetické nároky na zkapalnění, neboť energie potřebná ke zkapalnění dosahuje přibližně 40 % energie, která je v palivu uchována. Pro uskladnění se používají vícevrstvé nádoby s velmi dobrými izolačními vlastnostmi s maximálním přetlakem 5 barů. Při skladování vodíku dochází vlivem prostupu tepla z okolí k postupnému odpařování, tedy zvyšování tlaku uvnitř této nádoby. Aby nedošlo ke zničení nádrže, musí být přebytečný tlak odpouštěn. [7]



### **1.6.3 Skladování vodíku ve vozidlech v tlakových láhvích**

Vodík jako palivo se dnes ve vozidlech obvykle skladuje v kompozitních tlakových láhvích, které jsou vlastně hliníkové tenkostěnné nádoby, které jsou obaleny pláštěm z uhlíkových vláken, což tvoří velmi pevný celek, který je odolný vnitřnímu přetlaku, destrukci, ale také pronikání molekul vodíku materiálem jako takovým. Standardní provozní tlak je 350 bar v nákladních vozidlech a autobusech a 700 bar pak ve vozidlech osobních. Pro stlačení vodíku na takový tlak se obvykle používá pístový kompresor. Nádrž, která pojme 5 kg vodíku, který představuje dojezd asi 500 km, váží zhruba 100 kg. [7]

## **2 Vodík v městské hromadné dopravě**

O vodíku se stále častěji mluví jako o palivu, které by ve velkých dopravních prostředcích, jako jsou autobusy, větší auta, vlaky a nákladní auta mohl nahradit naftu a benzín. Doba tankování jedné nádrže a samotný dojezd dopravního prostředku na jedno natankování dává vodíku velké plus vůči čistě elektrickým dopravním prostředkům na baterie.

### **2.1 Potřeba podpory vodíkové dopravy**

Vodíková mobilita je investičně příliš náročná. Pro její rozvoj je nezbytná finanční podpora jednotlivých států při výstavbě infrastruktury a zároveň nákupu zatím velmi drahých vodíkových aut, autobusů a jiných dopravních prostředků hromadné dopravy. Na tom, že bezemisní a dobře fungující veřejnou dopravu může v budoucnu zajišťovat také vodík, se v dnešní době shodují odborníci na celém světě. Musí být uvedeno, že výhody využívání vodíku v hromadné dopravě jsou důvodem toho, že dnes jezdí už více než 500 vodíkových vozidel hromadné dopravy v Londýně, Hamburku, Miláně, Oslu a dalších městech. Musí být také konstatováno, že kromě aut a autobusů se vodíkový pohon testuje u tramvají, vlaků, malých lodí, a dokonce u trajektů. Předpokládá se, že vodík může do roku 2050 představovat až 24 % spotřeby energie států EU a zároveň dokáže jeho používání snížit emise skleníkových plynů o 15 % a vytvořit 5,4 milionu pracovních míst. V České republice by mělo do roku 2025 vzniknout 6 až 12 veřejných vodíkových stanic, na jejichž rozvoj je jen do konce roku 2020 v rámci operačního programu Doprava připraveno přibližně 200 milionů korun. Toto všechno odpovídá cílům Národního akčního plánu čisté mobility, protože musíme naplnit směrnici o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva, která navazuje na cíle EU při snižování emisí v dopravě. Největší snahu i konkrétní kroky v rámci republiky pro využití vodíku v dopravě vyvíjí moravskoslezský region. Průkopníkem využití vodíku je město Ostrava, které plánuje zcela vyřadit z městské dopravy všechny vznětové motory a nahradit je ekologickými vozidly na vodík a elektřinu. V Ostravě bude do dvou let vybudována vodíková plnicí stanice podpořená evropskou dotací. Další by měly přibývat. Vodík by pak do nich mohly dodávat místní firmy. Možnost jeho získávání v současnosti zjišťují například provozovatelé koksoven v kraji, společnosti OKK Koksovny a.s. nebo Třinecké

železárny. V Německu je momentálně provozováno už 50 vodíkových stanic. Němci plánují, že jich v roce 2023 budou mít 400. Plánují také autobusové spojení autobusem na vodíkový pohon z Berlína přes Drážďany až do Prahy. Proto považují Německo jako velkou inspiraci pro ostatní státy v Evropě v oblasti využívání vodíku v dopravě. Pro zajímavost je uváděno, že kraj také připravuje zapojení vodíkových vlaků do dopravní obslužnosti regionu. Cílem Moravskoslezského kraje jakožto jednoho z krajů s největší produkcí emisí je pro příští desetiletí minimalizovat zplodiny z veřejné dopravy. Do roku 2025 by mělo na silnicích v kraji jezdit třicet autobusů na vodíkový pohon, z toho prvních deset v Ostravě. Na to, aby alternativní paliva byla využívána, jsou kladeny požadavky jak ekonomické, to znamená cenově srovnatelné s klasickými palivy, ekologické s ohledem na dopad na životní prostředí, energetické s ohledem na poměr mezi získanou a vloženou energií a samozřejmě technické, což znamená, že musejí být dopravní prostředky přizpůsobené a musí být vytvořena infrastruktura. [8]

### **2.1.1 Projekt High V.LO-City**

Prvním z celoevropských společných projektů na podporu zavedení palivo-článekových autobusů do provozu byl projekt High V. LO City. Byl to pětiletý projekt a byl vyhlášen v roce 2012. Byl spolufinancován Evropskou komisí – Společným podnikem pro palivové články a vodík (FCH-JU) a jeho celkový rozpočet činil 31,5 mil. €. Cílem tohoto projektu bylo přispět k rozvoji autobusů na vodíkový pohon skrze porovnání jejich provozu v odlišných přírodních a dopravních podmínkách. V rámci projektu byly vybrány tři lokality. První lokalitou byl Italský region Ligurie, který leží na severozápadě Itálie a je třetím nejmenším italským krajem. Sousedí s Francií na západě, Piemontem na severu a Toskánskem na východě. Leží u Ligurského moře. Druhou lokalitou v rámci tohoto projektu je belgický region Flandry, který je jeden ze tří oficiálních regionů Belgie a nachází se na severu země. Třetím a posledním regionem v rámci tohoto projektu bylo vybrané chladné a deštivé skotské město Aberdeen. V rámci projektu bylo nasazeno celkově 14 palivo-článekových autobusů na vodík a součástí projektu bylo také vybudování tří systémů vodíkových plnicích stanic napojených na producenta vodíku s ekonomickým a ekologickým provozem. Náplní samotného projektu bylo pak sledovat a vyhodnotit náklady životního cyklu vodíkových autobusů, přispět ke standardizaci vodíkového pohonu a vodíkové infrastruktury, tím ke komercializaci využití palivových článků. Po vyhodnocení projektu se potvrdilo, že palivo-článekové autobusy představují

důležitou technologii pro městské dopravce při jejich přechodu na lokálně bezemisní provoz a snižování klimatických dopadů dopravy ve městě. Projekt rovněž potvrdil, že výroba a následný servis palivo-článkových autobusů lze významně standardizovat. Takovou standardizací by samozřejmě došlo ke zvýšení objemu výroby a následnému snížení jednotkové ceny autobusů. To by mělo za následek možnost dále zvětšovat vozidlové parky palivo-článkových autobusů u jednotlivých dopravců a efektivněji využívat potenciál plnicích vodíkových stanic. Výsledkem toho všeho je snížení nákladů na jednotku provozního výkonu. Samozřejmě projekt zaznamenal i problémy, které zahrnovaly zejména zpoždění v dodavatelském řetězci používaných produktů, obtíže v přístupu k plnicí infrastruktuře a různé technické problémy, které ale nesouvisí s palivovými články. Dodavatelé se ale snažili čelit těmto problémům, a to především dodávkami většího počtu náhradních dílů tak, aby se zvýšila celková dostupnost palivo-článkových autobusů. Palivo-článkové autobusy, které byly v rámci projektu nasazeny do provozu, dále pokračují u většiny dopravců a v Aberdeenu a Groningenu tvoří základ rozsáhlejšího vozidlového parku palivo-článkových autobusů, který je dále rozvíjen v rámci následných projektů. [9]

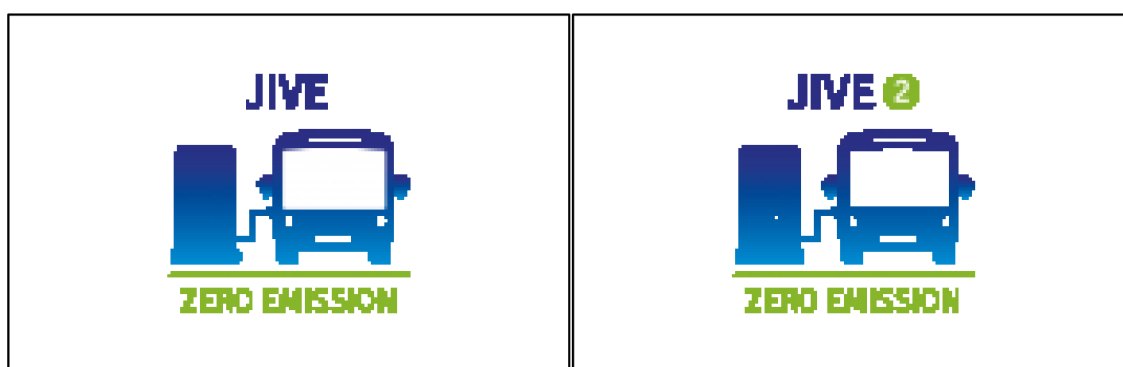
### **2.1.2 Projekt JIVE a JIVE 2**

Dalšími projekty na podporu palivo-článkových autobusů pro Evropu jsou projekty JIVE a JIVE 2. První z těchto projektů, projekt JIVE běží od ledna 2017. Je v gesci Mezinárodní unie veřejné dopravy (UITP) a spolufinancuje jej Společný podnik pro palivové články a vodík (FCH JU). Tento podnik, který jak jsem už psal, spolufinancuje oba projekty, je partnerem Evropské komise, průmyslových a výzkumných organizací pro rozvoj vodíkových a palivo-článkových technologií. Souběžně s projektem JIVE od února 2018 byl spuštěn projekt JIVE 2. Cílem projektu JIVE je komercializovat v Evropě palivo-článkové autobusy prostřednictvím zkušeností z větších parků těchto vozidel čítajících 10 – 30 autobusů. Za tímto účelem bude v rámci projektu JIVE uvedeno do provozu celkově 139 palivo-článkových autobusů v 9 lokalitách Evropy, které zahrnují Velkou Británii, Itálii, Dánsko, Lotyšsko a Německo. Tento projekt potrvá do konce roku 2022 s celkovým rozpočtem 113,6 mil. €, přičemž 32 mil. € z této sumy představují dotace z evropských zdrojů.

Stejný cíl jako JIVE má i jeho následník JIVE 2, v jehož rámci bude do provozu uvedeno celkem 152 palivo-článkových autobusů ve 14 místech Evropy zahrnujících Francii,

Německo, Island, Norsko, Švédsko, Nizozemí a Velkou Británií. Projekt JIVE 2 potrvá do konce roku 2023. Celkový rozpočet projektu činí 224,5 mil €, z toho 25 mil. € představuje dotace z evropských fondů.

Oba projekty celkem tedy uvedou do provozu 291 palivo-článkových autobusů. Spolu s autobusy, které už v provozu jsou, by mělo po roce 2020 jezdit v Evropě přes 400 palivo-článkových autobusů. Je to už dostatečné množství na to, aby zkušenosti z provozu vozidlových parků v reálných a odlišných podmínkách významně napomohly komercializaci palivo-článkových autobusů pro bezemisní městskou mobilitu. [9]



Obr. 2.1 loga JIVE a JIVE 2

Zdroj: [9].

### 2.1.3 Další evropské projekty

Projekt CHIC, neboli Čistý vodík v evropských městech začal v roce 2010 a skončil v prosinci roku 2016. V rámci projektu bylo zavedeno více než 50 autobusů na vodíkový pohon v osmi městech a regionech Evropy a Kanady. V kantonu Aargau ve Švýcarsku to bylo 5 autobusů, v italském Bolzanu 5 autobusů, anglickém Londýně 8 autobusů, italském Miláně 3 autobusy, norském Oslu 5 autobusů a kanadském Whistleru 20 autobusů. Další dvě německá města, a to Kolín nad Rýnem a Hamburg provozovala každé z nich 4 autobusy na palivové články prostřednictvím samostatně financovaných programů. Pro zajímavost bude níže vytvořena tabulka se specifikací autobusů dodávaných v rámci projektu CHIC. [12]

Tab. 2.1 Klíčové specifikace od pěti dodavatelů autobusů s palivovými články  
z projektu CHIC

Dodavatel autobusů	APTS	EvoBus Mercedes-Benz	New Flyer	Van Hool	Wrightbus
Provozováno v CHIC městě a počet autobusů	Kolín nad Rýnem (2)	Aargau (5) Bolzano (5) Hamburg (4) Miláno (3)	Whistler (20)	Kolín nad Rýnem (2) Oslo (5)	Londýn (8)
Celková délka v m	18,5	12	12,5	13,2	11,9
Kapacita pasažérů	96	76	60	101/75	49
Celková hmotnost v t	20,59	13,2	15,42	15,7/16,07	10,35 - 11,35
Výkon elektromotorů v kW	240	240	170	170	134
Výkon palivového článku v kW	150	120	150	150	75
Kapacita vodíkového úložiště v kg s kWh	40 (1333)	35 (1167)	56 (1866)	40/35 (1333)	31 (1023)
Úložiště elektrické energie	NiMH Baterie+superkapacitor y	Li-lon baterie	Li-lon baterie	Li-lon baterie	Superkapacitor y
Výkon úložiště	200	250	x	90 (max120)/100	105
Kapacita úložiště elektrické energie v kWh	26 + 2	26,9	47	24/17,4	20

Zdroj: vlastní zpracování podle [14].



Obr. 2.2 Logo Chic

Zdroj: [12].

Projekt pod konsorciem H2BUS, které vzniklo 3. července 2019, zavedl grant, který umožní do roku 2023 zavést 200 autobusů na vodíkový pohon a podpoří také vybudování infrastruktury v Dánsku, Lotyšsku a Velké Británii. Vzhledem k tomu, že cílem konsorcia

je zavedení alespoň 1 000 vodíkových autobusů, dalšími zeměmi, o kterých se v projektu uvažuje, jsou Norsko, Švédsko, Německo, Nizozemsko a Belgie, [10] [12]



Obr. 2.3 logo H2Bus

Zdroj:[10].

Projekt HyTransit byl zahájen v roce 2013 a běžel do konce roku 2018. Hlavním cílem projektu byla komercializace vodíkových autobusů v Evropě. Byla uskutečněná dodávka 6 vodíkových autobusů a nejmodernější stanice na výrobu a plnění vodíku ve městě Aberdeen. Autobusy byly v provozu 14 hodin s nájezdem 270 km denně, což mělo prokázat, že provozní dostupnost autobusů je ekvivalentní s provozem dieselových autobusů. [11]



Obr. 2.4 Logo HyTransit

Zdroj:[12].

Projekt 3EMOTION představoval zavedení 21 nových a další využití 8 stávajících autobusů s palivovými články s požadovanou infrastrukturou pro doplňování paliva. Autobusy byly nasazeny v 5 městech v Evropě, a to v dánském městě Aalborg 3 autobusy, anglickém Londýně 10 autobusů, francouzském městě Pau 3 autobusy, nizozemském Rotterdamu 6 autobusů a francouzském Versailles 7 autobusů. Každá z těchto lokalit má pro autobusy svá vlastní omezení, která je činí jedinečnými a pokrývá celou řadu autobusů s palivovými buňkami, které mohou být cennou náhradou za autobusy na fosilní paliva. [13]



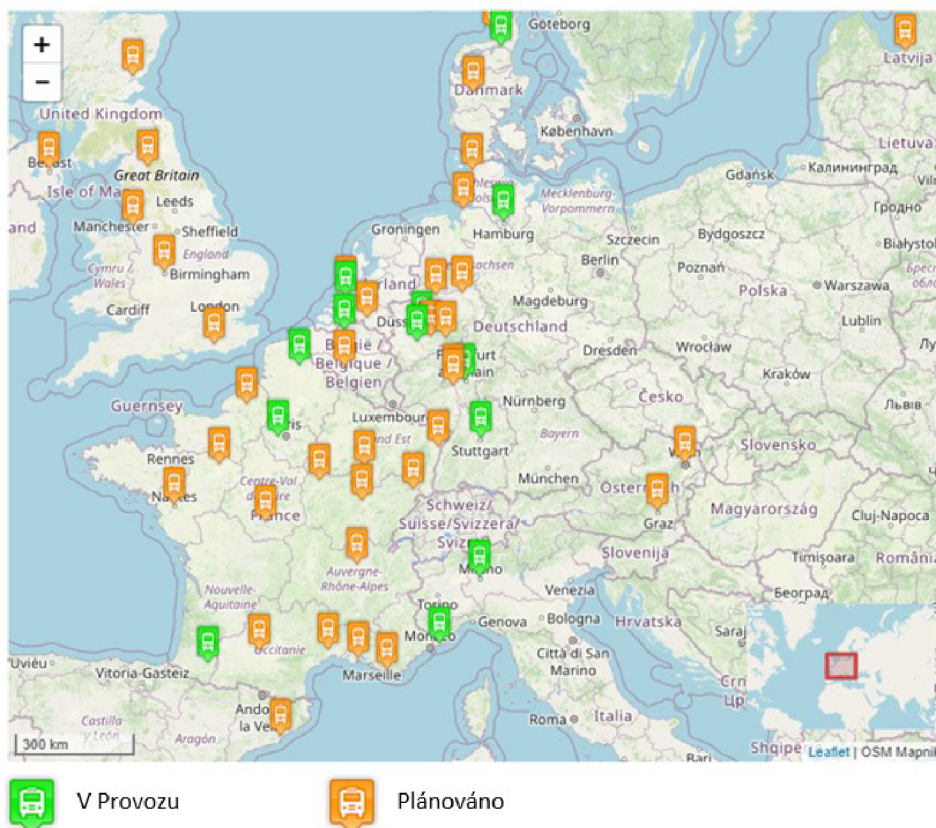
Obr. 2.5 Logo 3EMOTION

Zdroj:[12].

## 2.2 Vozidlové parky v evropských městech

Na úvod této kapitoly budou na mapě znázorněny stávající a plánované vozidlové parky palivo-článkových autobusů, přičemž v další části budou některé konkrétní regiony a města popsány podrobněji. Popsáno bude jen několik měst, protože to není hlavní část této práce. Kromě mapy bude taky zobrazena tabulka počtu autobusů, které budou v rámci projektů JIVE a JIVE 2 nasazeny do provozu v jednotlivých městech nebo regionech daných států.

### BUS LOCATIONS



Obr. 2.6 Místa provozu a plánovaného provozu vodíkových autobusů

Zdroj: [15].



Tab. 2.2 Počet autobusů na vodíkový pohon ve vybraných městech

MĚSTO/REGION	Celkový počet autobusů
Aberdeen, UK	21
Auxerre, Francie	5
Barcelona, Španělsko	8
Birmingham, UK	20
Brighton, UK	22
Charleroi, Belgie	10
Kolín nad Rýnem, Německo	50
Dundee, UK	12
Emmen, Nizozemsko	10
Gerderland, Nizozemsko	10
Groningen, Nizozemsko	20
Londýn, UK	20
Pau, Francie	5
Rhen Main, Německo	10
Jižní Holandsko, Nizozemsko	20
Jižní Tyrolsko, Itálie	12
Toulouse, Francie	5
Velenje, Slovinsko	6
Wuppertal, Německo	20

Zdroj: [9].

### 2.2.1 Aberdeen

Aberdeen je město, ve kterém se již dlouho rozvíjí bezemisní městská doprava. Od roku 2014 zde jezdí deset palivo-článkových autobusů značky Van Hool. Toto město v bezemisní městské dopravě zavedlo v roce 2017 také palivo-článková osobní auta pro lékaře a jiné veřejné služby. V červenci roku 2019 byla odborná veřejnost informována o tom, že v Aberdeenu bude vozidlový park palivo-článkových autobusů rozšířen o dalších patnáct autobusů v charakteristickém patrovém provedení. Tyto autobusy vyrobí britský výrobce Wrightbus. Autobusy budou vyrobené na osvědčené vozidlové platformě Wrightbus StreetDeck. Budou dlouhé 10,9 m a přepravní kapacita bude 64 cestujících. Zdrojem energie bude 85 kW palivo-článkový modul, který využívá technologii PEMFC. Palivem pro články je čistý vodík a jedno naplnění nádrže trvá asi 10 min., což odpovídá celodennímu provozu. Provozovatelem těchto palivo-článkových autobusů stejně jako již provozovaných, bude dopravce First

Aberdeen. Zahájení provozu autobusů je plánované na konec roku 2020. Na financování nákupu autobusů se podílí město Aberdeen, skotská vláda a Společný podnik EU pro palivové články a vodík jako součást evropského projektu JIVE. [9]



Obr. 2.7 Street Deck v Aberdeenu,

Zdroj: [9].

### 2.2.2 Wuppertal, Kolín nad Rýnem

Dalšími městy, která budou v práci popsána, jsou německá města Kolín nad Rýnem a Wuppertal. Tato města už koncem února roku 2018 uzavřela smlouvu na dodávku 40 palivo-čláňkových autobusů od belgického výrobce Van Hool, konkrétně 30 autobusů pro Kolín nad Rýnem a 10 autobusů pro Wuppertal. Tento nákup je opět spolufinancován z projektu JIVE. Výrobce Van Hool v rámci této smlouvy dodá 12 m dlouhé třínápravové palivo-čláňkové autobusy typu A330 o přepravní kapacitě 29 sedících a 49 stojících. V autobusech je samozřejmě myšleno i na invalidy a maminky. Proto je tu prostor pro dva invalidní vozíky a jeden kočárek pro děti. Spotřeba těchto autobusů se pohybuje kolem 8 kg vodíku na 100 km. Celková kapacita nádrže je 38,2, což znamená dojezd 350 km na jedno naplnění nádrže. Tento fakt odborníci považují za velkou výhodu oproti bateriovým elektrickým autobusům. Obě tato města vede k zavedení palivo-čláňkových autobusů snaha o bezemisní městskou dopravu. V Kolíně nad Rýnem ke stávající vodíkové plnicí stanici přibýly koncem roku 2018, pro potřebu nových palivo-čláňkových

autobusů, další dvě stanice. Pro dopravce, který provozuje autobusy ve Wuppertalu, je tato dodávka autobusů součástí veřejné soutěže na celkem 63 palivo-článkových autobusů, kterou město vyhlásilo v květnu 2017. Město ale také myslí na infrastrukturu, která je potřebná k provozu tolika autobusů, a už v létě roku 2016 podpořila vybudování tamní čerpací stanice Shell jako první v rámci německého projektu H2 mobility. Ale město myslí i na další detaily čisté mobility a uvažuje nad tím, jak využít fungující infrastrukturu na získání vodíku jako paliva, a proto se rozhodlo, že od února roku 2020 bude k zásobování vodíkem sloužit plnicí stanice budovaná ve spalovně komunálního odpadu, která je provozovaná společností, jejímž většinovým akcionářem je městský dopravce. Toto propojení má za následek to, že celý projekt je realizován v rámci městského koncernu. Spalovna vyrábí vodík v energetické jednotce o výkonu 1 MW, který pojme 425 kg vodíku, což je dostačující pro denní natankování více než deseti autobusů. U tohoto projektu je nutno zmínit i ekonomickou stránku celého projektu. Cena jednoho autobusu činí kolem 650 tisíc €, celková investice tedy představuje 6,5 mil. €. Investice do výrobní základny na vodík v tamní spalovně činí 5,5 mil. €. Celkové investiční náklady v rámci tohoto projektu pro město Wuppertál činí 12 mil. € a je nutno připomenout, že z této sumy je dotacemi pokryto 6,5 mil. €.



Obr. 2.8 Wuppertal palivo-článkový autobus

Zdroj: [9].

Městská doprava v Kolíně nad Rýnem zaznamenala začátkem února 2021 důležitý milník, když tamní dopravce převzal první z patnáctikusové série palivo-článkových autobusů Solaris Urbino 12 hydrogen a zvětšil svůj vozidlový park na 38 palivo-článkových autobusů Van Hool,

který se tím stal největším parkem v Evropě. Zbylé autobusy budou dodány v období od července do prosince roku 2021. [9]



Obr. 2.9 Solaris Kolín nad Rýnem

Zdroj: [9].

### 2.2.3 Londýn

Dalším městem, které bude uvedeno, je Londýn, jehož palivo-článkové autobusy v roce 2019 najeli 2 120 524 km, což je nejvíce ze všech evropských měst. Odborná veřejnost byla v květnu 2019 informována o tom, že právě v Londýně, jakožto v prvním evropském městě, budou do provozu uvedeny tzv. double-decker palivo-článkové autobusy a konkrétně v průběhu roku 2020 by jich zde mělo jezdit 20. Tyto patrové palivo-článkové autobusy pro Londýn bude dodávat britský výrobce Wrightbus. Budou nasazeny na nejvytíženějších linkách v rámci Londýna, konkrétně ke stadionu ve Wembley a ve směru ze západního Londýna do čtvrti West End. Jedno naplnění nádrže vodíkem v těchto autobusech by nemělo trvat déle než pět minut. Primárním zdrojem energie budou 85 kW palivo-článkové jednotky. Na financování tohoto projektu se město Londýn prostřednictvím své organizační jednotky Transport for London podílí částkou 12 milionů liber, v čemž je zahrnuta i investice do vodíkové plnicí stanice. Z prostředků EU je tento projekt spolufinancován 5 miliony liber. Národní zdroje přispějí prostřednictvím vládní Kanceláře pro nízko-emisní vozidla částkou 1 milion liber. Tento krok je vnímán jako naplnění strategie města snížit o 90 % emise z městských autobusů v deseti vyhlášených tzv. nízko-emisních autobusových zónách. Tyto palivo-článkové



patrové autobusy rozšíří stávající park, který čítá 165 elektrických městských autobusů v Londýně. Londýn si tímto počtem bezemisních autobusů drží čelní místo mezi Evropskými metropolemi. Pro zajímavost je uváděno, že město Londýn kromě zavádění bezemisních autobusů, zavedlo také palivo-článkové osobní automobily, konkrétně značky Toyota Mirai, kterými od března roku 2018 jezdí Londýnská metropolitní policie. [9]



Obr. 2.10 Patrový palivo-článkový autobus Londýn

Zdroj: [9].

#### 2.2.4 Groningen

Dalším městem, které se snaží o lokální bezemisní provoz městské dopravy, je nizozemské město Groningen. Důkazem toho je dodávka 20 palivo-článkových autobusů a plnicí stanice, která byla spuštěna do provozu na konci července 2019 tamním dopravcem Qbuzz spolu se zadavatelem veřejné dopravy OV-bureau. Dodání těchto autobusů, je součástí evropského projektu JIVE 2. Vodíková plnicí stanice má kapacitu 110 – 160 tun vodíku ročně a bude umístěna v autobusové garáži Peizerweg v Groningenu. Dodavatelem paliva do této plnicí stanice je SHELL Nederland. Palivo-článkové autobusy nejsou pro stejnojmennou provincii Groningen novinkou. Již od roku 2017 jsou ve zkušebním provozu ve městě Delfzijl v provincii Groningen, dva palivo-článkové autobusy Van Hool. Nový park 20 palivo-článkových autobusů pro město Groningen dodává taktéž tento výrobce. Tyto autobusy s typovým označením A330 fuel cell Europa jsou ve standardním provedení dlouhé 13,2 metru. Na jedno naplnění nádrže ujedou tyto autobusy cca 350 – 400 km. Díky tomuto dojezdu budou nasazeny na delší regionální autobusové linky. Financování tohoto projektu, jako u jiných

evropských měst v rámci projektu JIVE 2, představují dotace z evropských zdrojů, dále je spolufinancován z rozpočtu provincie Groningen a nizozemským státem prostřednictvím Ministerstva infrastruktury a vodního hospodářství. [9]



Obr. 2.11 Palivo-článkový autobus Groningen,

Zdroj: [9].

### **3 Metodika kalkulace nákladů v dopravě**

Pro rozvoj společnosti a pozitivní vývoj ekonomiky je doprava nejen dnes, ale i historicky, jedním z klíčových odvětví hospodářství. V této práci se zabývám veřejnou dopravou. Úkolem a cílem veřejné dopravy je rozvoj měst, obcí a regionů. To může vést k mnoha pozitivním ekonomickým jevům. Z tohoto faktu vyplývá, že veřejná doprava je závazek veřejné služby, který by provozovatel této služby na základě svých vlastních ekonomických a obchodních zájmů bez odměny státu nepřevzal vůbec, nebo převzal, ale za jiných podmínek, které by pro lidi využívající tuto službu byly nevýhodné. Z tohoto a mnoha jiných důvodů má stát zájem na tom, aby dokázal určit a přesně definovat jednotlivé druhy nákladů ve veřejné dopravě. Vede to vlastně k tomu, že příslušné orgány státu mají zájem na jednotném způsobu výpočtu nákladů a metodika tak najde uplatnění v plánování dopravní obslužnosti regionů. Tato metodika má klíčový význam v ekonomické činnosti dopravních podniků. Tato všeobecná metodika může obsahovat náklady, které jsou zahrnuty v účetnictví podniku provozujícím veřejnou dopravu a nezohledňuje takzvané externí náklady, protože tyto náklady jsou velmi obtížně kvantifikovány. Metodiku kalkulace nákladů je možno využívat i v rámci vědy a výzkumu, například při zavádění vozidel s alternativním pohonem, protože je možno určit, jestli dokážou konkurovat autobusům s klasickým pohonem z ekonomického hlediska. [16]

#### **3.1 Pojetí nákladů**

Na úvod této kapitoly si je nutno říct co vlastně náklady jsou. Dle všeobecné definice nákladů jsou to vlastně zdroje, které se spotřebovávají za cílem současného nebo budoucího zisku. Vytvoření zisku je základním předpokladem ekonomické efektivity podniku. Rentabilitu, která z této efektivity vyplývá, můžeme tedy vyjádřit jako poměr dosaženého zisku a nákladů, které bylo potřeba vynaložit k realizaci daného výkonu, přičemž výkonem rozumíme množství jednotek produkce označovaných jako kalkulační jednotice. V autobusové přepravě, tedy silniční dopravě, za tyto jednotky obvykle považujeme 1 kilometr, který lze rozdělit na takzvaný 1 ujetý kilometr a na 1 kilometr uvedený v jízdním řádu, respektive ložený kilometr a druhou jednotici je 1 hodina stání, případně 1 hodina provozu. [16]

Dalším důležitým faktem, na který nemožno zapomenout a který si je potřeba uvědomit, je to, že autobus spolu s řidičem může být vnímán jako nerozdělitelný celek, avšak ve skutečnosti jsou tyto dvě věci často ekonomicky využívány odlišně. Pro objasnění daného faktu si můžeme představit situaci, kdy v autobusu může jet více řidičů najednou, nebo řidič může vykonávat práci, ke které autobus nepotřebuje. Proto musíme jak autobus, tak řidiče vnímat pouze jako část dopravního kompletu, který se po silnici pohybuje. A právě pro tento fakt náklady na jízdu autobusu musíme vypočítat jako součet nákladů na autobus a nákladů na všechny řidiče. U autobusu jde o součet nákladů na kilometr jízd a nákladů na hodinu stání a u řidiče jde o náklady na hodinu jeho práce, což znamená, že výkon každé části tohoto dopravního kompletu se měří v jiných jednotkách. U jiných technologicky složitějších doprav bychom potřebovali definovat mnohem více takových jednotek. [16]

## **3.2 Rozdělení nákladů**

V předešlém textu byly nadefinovány kalkulační jednice. Tyto jednice můžeme považovat za nositele nákladů. Jenomže jenom samotné nadefinování kalkulační jednice nestačí na výpočet nákladů, a proto v další části budou náklady rozděleny podrobněji. Nejdůležitější je si na začátku určit, jaké náklady nám při dané činnosti vznikají. To znamená, že si je potřeba specifikovat druhy nákladů a zařadit je do jednotlivých skupin. Je vlastně potřeba zcela přesně určit, jaké konkrétní náklady jsou s danou jednicí spojeny. [16]

### **3.2.1 Přímé náklady**

Přímými náklady v dopravě se rozumí všechny takové náklady, které jsou k realizaci dopravního výkonu nezbytné a zároveň se dají jednoznačně přiřadit ke konkrétnímu vozidlu, nebo řidiči a také jízdě vozidla. První věcí, kterou mezi tyto náklady řadíme, jsou pohonné hmoty, respektive konkrétně průměrná spotřeba vozidla, kterou uvádíme v počtu litrů na 100 kilometrů jízdy. Dalšími náklady, které do této skupiny řadíme, jsou náklady spojené s pneumatikami potřebnými pro konkrétní vozidlo, a to, jak náklady spojené s nákupem pneumatik, které jsou osazeny na vozidle, tak rezervní pneumatiky, opravy pneumatik a tak dále.



Třetí skupinou jsou přímé náklady, které můžeme nazvat také jako náklady na ostatní přímý materiál. Těmito náklady se rozumí například náklady na olej, kapalinu do ostříkovačů, brzdová kapalina, vzduchové, palivové a jiné filtry a různý jiný přímý materiál, který je potřeba k provozu vozidla. Dalšími přímými náklady jsou náklady vynaložené na mzdu řidiče a platby s tím spojené. Dále jsou to odpisy, pronájem a leasing spojený s vozidlem, odpisy, pronájem a leasing zařízení souvisejících s vozidly, jako jsou například navigace, mýtná jednotka a podobně.

Nesmíme také zapomenout na náklady, které jsou spojeny s úroky z úvěrů na vozidla a zařízení souvisejících s vozidly. Náklady spojené s opravami a údržbou vozidel tak řadíme mezi přímé náklady, přičemž údržba je svým způsobem preventivní činnost, jejímž úkolem je zajistit co nejdelší životnost vozidla bez nutnosti jeho opravy a samotnou opravu musíme vnímat, jako činnost s cílem, kterým je uvést vozidlo do provozuschopného stavu.

Poslední skupinou přímých nákladů jsou takzvané ostatní přímé náklady. Při samotném výpočtu nákladů se všeobecně doporučují používat dvě varianty výpočtu, a to takzvaným odborným odhadem, nebo vlastním detailním výpočtem. Přímé náklady si je pak nutno rozdělit na fixní a variabilní. Za fixní náklady považujeme takové náklady, které nejsou závislé na objemu produkce či rozsahu dopravního výkonu. Variabilními náklady jsou pak logicky náklady, které jsou na objemu produkce či rozsahu dopravního výkonu závislé. [16]

### **3.2.2 Režijní náklady**

V této části práce v krátkosti popíšu další, takzvané režijní náklady. Pro tyto náklady je zásadní jedna věc, a to že jsou to náklady, které nesouvisí s žádnou kalkulační jednotkou. Je ale nutno tyto náklady zohlednit v celkových nákladech dopravního výkonu. Rozpočítání režijních nákladů, do celkových nákladů podniku je možné udělat v různých variantách. První z nich je vypočítat je podle dopravních výkonů jednotlivých vozidel, která však nemusí být celkem objektivní, a druhou objektivnější variantou je vypočítat náklady podle dopravních výkonů vážených směrodatným parametrem, což znamená zohledňovat náklady podle dopravních výkonů vážených směrodatným parametrem. Směrodatným parametrem je zohlednění pořizovací ceny vozidla, přepravní kapacita vozidla, odpisy a podobně. Z toho vyplývá, že přesnější metodikou počítání je rozpočítávat režijní náklady k jednotlivým vozidlům v závislosti k jejich dopravním výkonům vážených

pořizovací cenou vozidla. Do výše zmíněných režijních nákladů započítáváme provozní režie. Do těchto nákladů se počítá všechno, co nelze vyčíslit v produkci, či rozsahu dopravního výkonu. To jsou náklady jako například elektřina v podniku, vytápění garáží a budov podniku a různé jiné. Druhou složkou jsou správní režie, které můžou zahrnovat odpisy dlouhodobého majetku, krátkodobý majetek, kancelářské potřeby, daně a poplatky, propagace a ostatní správní režie. Poslední složkou režijních nákladů, kterou je potřeba v metodice nákladů v dopravě určitě započítat, je zisk. Je to složka, kterou kromě vlastních nákladů musíme započítat do ceny dopravního výkonu, protože všeobecně základním cílem podnikání je právě zisk. Tento zisk, který je potřeba započítat není skutečně dosaženým ziskem, ale pouze odhadem, nebo požadavkem na dosažení celkového zisku, který musí mít podnik zohledněn v tarifu, aby dosáhl svých cílů. Stejně tak jako přímé náklady, tak i náklady režijní je možno počítat dvěma způsoby, a to buď odborným odhadem, nebo vlastním detailním výpočtem. [16]

### 3.3 Určení nákladů v dopravě matematicky

Při modelování nákladů je můžeme rozdělit na fixní a variabilní, nebo přímé a nepřímé. V případě fixních nákladů je nákladový model dán následující funkcí. [12]

$$N = N_{fix} + n_1 \cdot V + n_2 \cdot V^2 + \dots + n_{m-1} \cdot V^{m-1} + n_m \cdot V^m \quad (3.1)$$

$N$  ... celkové náklady (p.j./rok)

$N_{fix}$  ... fixní náklady, nezávislé na produkci (p.j./rok)-

$V^k$  ... objem výroby ( $ks^k$ /rok);  $k = 1, 2, 3, \dots, m$

$n_k$  ... koeficienty závislosti (p.j./ $ks^k$ );  $k = 1, 2, 3, \dots, m$

Teorie potom dále říká, že derivací nákladové funkce získáme mezní náklady a podílem celkových nákladů a objemu výroby náklady měrné. Mezní náklady můžou při rozhodování dopravců hrát významnou roli, a to zejména v případě u rozhodování o dalším spoji, kde dopravce bude své optimum hledat tam, kde se mezní výnosy budou rovnat mezním nákladům. Jakýkoli další spoj, jehož výnosy budou větší než náklady, pak bude pro dopravce zajímavým a dopravce ho bude realizovat samozřejmě v případě, pokud bude disponovat dostatečnou kapacitou. [17]

Pokud potřebujeme znát hodnotu nákladů na výrobní jednotku, použijeme dělení nákladů za účelem kalkulace na přímé a nepřímé. Přičemž jak jsem už uváděl, přímé náklady jsou takové, které lze přímo změřit na kalkulační jednotku, především tedy přímé mzdy

a materiál. Naopak, nepřímé náklady jsou takové, které takto přiřadit nejde a které jsou společné více kalkulačním jednicím. To znamená, že při posuzování nákladů na přímé náklady  $N_P$  a nepřímé náklady  $N_{NP}$  vyjdeme ze vztahu pro celkové náklady  $N_C$ . [18]

$$N_C = N_P + N_{NP} \quad (3.2)$$

Celkové náklady, jak by se mohlo zdát, nejsou ty klíčové. Musíme se zaměřit na jednotkové náklady, u kterých je možné postupovat způsobem, kterým vypočítáme takzvané tarifní sazby. Tarifní sazby mohou být závislé buď na hodinách provozu, nebo na ujetých kilometrech. Pak tuto sazbu na jeden kilometr stanovíme vztahem:

$$tS_{km} = \sum_{l=1}^n n_{km}^l \quad (3.3)$$

kde:

$tS_{km}$  ... tarifní sazba na jeden kilometr (p.j./km)

$n_{km}^l$  ... l-tý typ jednotkových nákladů [17]

Tento vztah lze dále rozepsat na:

$$tS_{km} = n_{km}^P + n_{HOD}^P + n_{km}^{NP} \quad (3.4)$$

$n_{km}^P$  ... přímé náklady závislé na ujetém kilometru (p.j./km)

$n_{HOD}^P$  ... přímé náklady závislé na hodině provozu přepočtené na jeden kilometr (p.j./km)

$n_{km}^{NP}$  ... nepřímé náklady přepočtené na ujetý kilometr (p.j./km)

Pokud dosadíme i hlavní nákladové položky, dostáváme už detailnější strukturu nákladů. Vzhledem k tomu, že náklady přímé jsou závislé buď přímo na kilometru, nebo hodině provozu, resp. nepřímé náklady jsou měřeny za časovou jednotku, držíme se přitom při stanovení tarifní sazby na jeden kilometr dvou pravidel:

- náklady nezávislé se v prvním kroku vydělí roční dobou provozu vozidla a vypočtená hodnota se zapíše do nákladů sazby na hodinu stání vozidel
- náklady závislé na hodinách provozu v jednotlivých položkách kalkulačního vzorce se vydělí rychlostí a výsledek se uvede v nákladech za ujetý km

$$tS_{km} = n_{PH} + n_{PNEU} + n_{OST} + \frac{n_{HOD}^P}{v} + n_{ODP} + n_R \quad (3.5)$$

kde:

- $n_{PH}$  ... jednotkové náklady na pohonné hmoty (p.j./km)
- $n_{PNEU}$  ... jednotkové náklady na pneumatiky (p.j./km)
- $n_{OST}$  ... ostatní přímé náklady, zejména náklady na údržbu a materiál (p.j./km)
- $v$  ... cestovní rychlost (p.j./hod)
- $n_R$  ... jednotkové režijní náklady (p.j./m)
- $n_{ODP}$  ... odpisové náklady (p.j./rok)

Což je možno vyjádří také:

$$tS_{km} = c \cdot p_{PH} + n_{PNEU} + n_{OST} + \frac{n_{HOD}^P}{v} + \frac{N_{ODP} + N_R}{L} \quad (3.6)$$

Kde:

- $p_{PH}$  ... jednotková cena pohonných hmot (p.j./l)
- $n_p$  ... ostatní přímé náklady – opravy, přímé mzdy, apod. (p.j./km)
- $N_{ODP}$  ... odpisy dopravního prostředku (p.j./rok)
- $N_R$  ... režijní náklady (p.j./rok)
- $L$  ... ujeté kilometry za období jednoho roku (p.j./rok)

Na závěr této kapitoly musí být konstatováno, že úspěšnost podnikání v dopravě je závislá nejen na schopnosti být operativní a časově flexibilní, ale též na schopnosti odhadnout vývoj nákladů a dopravních výkonů vozidel. Právě nákladové hledisko může být rozhodující u toho, s jakou rychlostí bude postupně docházet k přechodu z autobusů na klasický pohon na autobusy, které pohánějí alternativní paliva.

## 4 Srovnání provozu autobusů na diesellový a vodíkový pohon

Využití palivo-vodíkových autobusů v hromadné dopravě se dnes jeví jako velice efektivní způsob na omezení negativních dopadů na životní prostředí v silniční dopravě. Je pravdou, že tyto autobusy zatím nejsou zcela běžné, ale v nejbližších letech je plánovaná docela velká obnova vozidlových parků napříč Evropou. [18]

Moje bakalářská práce má porovnat náklady palivo-článkových autobusů s autobusy na klasický diesellový pohon. Pro ekonomické srovnání budu využívat metodiku Kalkulace nákladů silniční nákladní a osobní dopravy. V samotné kalkulaci pak budu vycházet z veřejně dostupných hodnot jednotlivých nákladů.

### 4.1 Postup řešení

Dle Kalkulace nákladů silniční nákladní a osobní dopravy budou realizovány výpočty, které vycházejí z číselných nákladů na jeden kilometr s převodem spotřeby nafty na vodík. Tyto parametry budou pak vzájemně srovnány. Jak se uvádí v metodice nákladů, je pro výpočet nákladů, nákladových tarifů a realizaci dopravních výkonů potřebná znalost technických a ekonomických ukazatelů, přičemž tyto hodnoty se udávají pro kalkulované období, které je většinou jeden rok. V případě výpočtu nákladů na jízdu autobusu je třeba brát v potaz soubor proměnných – resp. součet nákladů na autobus (jízda i jeho stání) a také řidiče. Náklady je však nezbytné rozdělit detailněji, a to na náklady přímé (ty, které jsou s provozem autobusu neoddelitelně spojeny, tedy pohonné hmoty, pneumatiky apod.) a režijní/nepřímé (ty, které je nutno vynaložit, ale nejedná se přímo o náklady spojené explicitně s provozem). Do celkových nákladů budou tedy zahrnuty veškeré vyvstávající náklady, vedle vlastní spotřeby pohonných hmot a mazadel budou započteny také položky jako náklady na pneumatiky, odpisy dopravních prostředků, mzdy a odvody, údržba, mýto, provozní a správní režie a jiné (ostatní) náklady. Při vlastním srovnání využití jednotlivých typů pohonných hmot konstantními náklady budou ty, které se v závislosti na palivu nemění (mzdy, režie, pojištění...) zachycovány, budou ale i náklady, jež se mění v závislosti na ujetých kilometrech a také počtu hodin provozu. Za účelem srovnání je tedy třeba nejprve zohledňovat ty položky, jež se mění v závislosti na zvoleném palivu. Další klíčovou položkou je cena vybraných pohonných hmot. U přímých odpisů je v první řadě klíčová pořizovací cena autobusu. Ceny autobusů

se samozřejmě různí s ohledem na výbavu a také individuální požadavky dopravců. Na druhou stranu tento finanční rozdíl může být snížen díky dotacím na nákup autobusů na palivo-vodíkový pohon. V souvislosti s opravami a nutnou údržbou je zásadním faktem to, že motory v elektromobilech na palivo-vodíkový pohon ve srovnání s motory na diesel vyžadují neporovnatelně nižší náklady na údržbu. Další položka, se kterou je potřeba počítat, jsou mzdy. Mzda je u obou druhů autobusů stejná, ale je u ní nutnost na jednu stranu započítat mzdy samotných řidičů a na stranu druhou mzdy všech ostatních pracovníků obstarávajících provoz městské dopravy a taky dalších pracovníků, kteří se podílejí na činnostech, které se týkají provozu městské dopravy. Je také potřeba započítat náklady spojené s poplatky za provoz na dálnicích, to znamená mýtní a dálniční poplatky. Další náklady, které jsou režijní, a zařazujeme je do nepřímých nákladů, jsou takové, které se týkají různých procesů na podporu chodu podniku. Tyto režijní náklady můžeme různě kategorizovat s ohledem na sledované ekonomické veličiny. A v neposlední řadě je potřeba počítat s ostatními náklady, kterými jsou míněny náklady o cestovních náhradách a odvodech které jsou realizovány v souvislosti s příspěvkem hrazenými zaměstnavatelem z mezd, které taky zaměstnavatel platí, jako například sociální a zdravotní pojištění.

## 4.2 Vyhodnocení dat

V matematickém popisu metodického postupu byly představeny základní užité vzorce. Bude se vycházet z dvojice základních vzorců, které budou zachycovat veličiny celkových nákladů pro provoz obou typů pohonných hmot.

$$n_{CEL}^{diesel} = n_{PHM}^{diesel} + n_{ÚDRŽBA}^{diesel} + n_{ODPISY}^{diesel} + n_{MÝTO}^{diesel} + k \quad (4.1)$$

$$n_{CEL}^{vodík} = n_{PHM}^{vodík} + n_{ÚDRŽBA}^{vodík} + n_{ODPISY}^{vodík} + n_{MÝTO}^{vodík} + k \quad (4.2)$$

Náklady, které je potřeba vynaložit na pohonné hmoty, pak vyjádříme vztahem:

$$n_{phm}^{vodík} = \frac{S_{vodík} \times C_{vodík}}{100} \quad (4.3)$$

S – spotřeba paliva v kg na 100 km. C – cena paliva za kilogram

$$n_{phm}^{diesel} = \frac{S_{diesel} \times C_{diesel}}{100} \quad (4.4)$$

S – spotřeba paliva v litrech na 100 km. C – cena paliva za litr

Pro zjednodušení výpočtu pak sloučíme náklady na údržbu, odpisy a mýto do jedné kategorie, a to součtem jednotlivých položek a vyjadřovat nám to budou dva následující vzorce:

$$n_{\text{ÚDRŽBA}}^{\text{vodík}} + n_{\text{ODPISY}}^{\text{vodík}} + n_{\text{MÝTO}}^{\text{vodík}} = n_{\text{SOUBOR}}^{\text{vodík}} \quad (4.5)$$

$$n_{\text{ÚDRŽBA}}^{\text{diesel}} + n_{\text{ODPISY}}^{\text{diesel}} + n_{\text{MÝTO}}^{\text{diesel}} = n_{\text{SOUBOR}}^{\text{diesel}} \quad (4.6)$$

Výsledný vztah je tedy:

$$\frac{S_{\text{vodík}} \times C_{\text{vodík}}}{100} + n_{\text{SOUBOR}}^{\text{vodík}} + k \quad (4.7)$$

$$\frac{S_{\text{diesel}} \times C_{\text{diesel}}}{100} + n_{\text{SOUBOR}}^{\text{diesel}} + k \quad (4.8)$$

### 4.3 Ekonomické vyhodnocení

#### 4.3.1 Cíl ekonomického vyhodnocení

Vzhledem k tomu, že práce se zaměřuje na využití vodíku jako paliva v hromadné autobusové dopravě ve srovnání s dieselovým pohonem s ohledem na ekonomické ukazatele, je cílem práce poskytnout odpověď na hlavní otázku, kterou je určení ceny vodíku tak, aby byl celkový provoz vodíkových autobusů ekonomicky srovnatelný s celkovým provozem dieselových autobusů.

#### 4.3.2 Určení vstupních údajů

Pro výpočet na určení ceny vodíku bude vycházeno ze základního vzorce, ve kterém si dáme do rovnosti jednotkové náklady provozu naftového autobusu s jednotkovými náklady vodíkového autobusu a vypočítáme při jakých kombinacích cen nafty a vodíkového paliva budou tyto náklady stejné. Základní rovnice, kde levá strana představuje jednotkové náklady naftového autobusu a pravá jednotkové náklady vodíkového autobusu bude vypadat následovně:

$$C_D \cdot S_D + n_p^D + \frac{N_{\text{poř}}^D}{T_z^D \cdot L_D} = C_H \cdot S_H + n_p^H + \frac{N_{\text{poř}}^H}{T_z^H \cdot L_H} \quad (4.9)$$

$n_D$  ... jednotkové náklady provozu naftového autobusu (Kč/km)

$n_D$  ... jednotkové náklady provozu vodíkového autobusu (Kč/km)

$C_D$  ... cena nafty (Kč/l)

$S_D$  ... spotřeba nafty (l/km)  
 $n_p^D$  ... provozní náklady spojené s naftovým pohonem (Kč/km)  
 $N_{poř}^D$  ... pořizovací náklady naftového autobusu (Kč/bus)  
 $T_z^D$  ... doba životnosti naftového autobusu (roky/bus)  
 $L_D$  ... nájezd naftového autobusu (km/rok)  
 $C_H$  ... cena vodíku (Kč/kg)  
 $S_H$  ... spotřeba vodíku (kg/km)  
 $n_p^H$  ... provozní náklady spojené s vodíkovým pohonem (Kč/km)  
 $N_{poř}^H$  ... pořizovací náklady vodíkového autobusu (Kč/bus)  
 $T_z^H$  ... doba životnosti vodíkového autobusu (roky/bus)  
 $L_H$  ... nájezd vodíkového autobusu (km/rok)

Dále bude vzorec upraven následně:

$$C_D \cdot S_D - C_H \cdot S_H = n_p^H - n_p^D + \frac{N_{poř}^H}{T_z^H \cdot L_H} - \frac{N_{poř}^D}{T_z^D \cdot L_D} \quad (4.10)$$

Pro další zjednodušení vzorce si zavedeme dva nové pojmy, a to  $d_p$ , neboli diferenciál provozních nákladů, jehož jednotkou budou Kč na ujetý kilometr, a  $d_{ODP}$  neboli diferenciál pořizovacích nákladů, jehož jednotkou jsou také Kč na ujetý kilometr. Tyto dvě jednotky budou vyjádřeny následně:

$$d_p = n_p^H - n_p^D \quad (4.11)$$

$$d_{ODP} = \frac{N_{poř}^H}{T_z^H \cdot L_H} - \frac{N_{poř}^D}{T_z^D \cdot L_D} \quad (4.12)$$

Po dosazení těchto dvou diferenciálů můžeme následně vzorec zapsat v podobě:

$$C_D \cdot S_D - C_H \cdot S_H = d_p + d_{ODP} \quad (4.13)$$

Přičemž další jednoduchou úpravou odvodíme konečný základní vzorec pro výpočet ceny vodíku, který je:

$$C_H = \frac{C_D \cdot S_D - (d_p + d_{ODP})}{S_H} \quad (4.14)$$

### 4.3.3 Určení vstupních hodnot

Pro samotný výpočet budou určeny hodnoty, na základě kterých bude vypočtena cena vodíkového paliva dle vzorce, který byl odvozen v předešlé kapitole. Cena nafty pro výpočet ceny vodíku vzhledem k cíli graficky znázornit výhodnost jednotlivých paliv bude měněna v rozmezí 20 Kč/l až 50 Kč/l. Bude předpokládáno, že průměrná spotřeba



dieselového autobusu je 37,60 l/100 km. Provozní náklady spojené s naftovým motorem budou představovat 3,30 Kč/km. Další důležitou položkou při výpočtu bude pořizovací cena naftového autobusu, kde budeme počítat s cenou za jeden autobus 6 691 000 Kč. Předpokládanou dobou životnosti dieselového autobusu bude doba 5 let s ročním nájездem 66 000 km. Předpokládaná průměrná spotřeba vodíku ve vodíkovém autobusu bude 9 l/100km. Dále, provozní náklady spojené s vodíkovým pohonem budou 4,30 Kč/km. Pořizovací náklady vodíkového autobusu budou 15 442 000 Kč. Doba životnosti vodíkového autobusu bude stejně jako u dieselového autobusu 5 let a roční nájезд vodíkového autobusu bude taky stejný jako u dieselového autobusu, a to 66 000 km. Pro přehlednost vstupních hodnot byla sestavena následující tabulka.

Tab. 4.1 Vstupní hodnoty pro výpočet

<b>Druh nákladů</b>	<b>Diesel</b>	<b>Vodík</b>
Cena autobusu	6 691 000 Kč/ks	15 442 000 Kč/ks
Spotřeba	37,6 l/ 100 km	9 kg/ 100 km
Provozní náklady	3,30Kč/ km	4,30 Kč/ km
Životnost	5 let	5 let
Nájезд	66 000 km/ rok	66 000 km/ rok

Zdroj: vlastní zpracování podle [12].

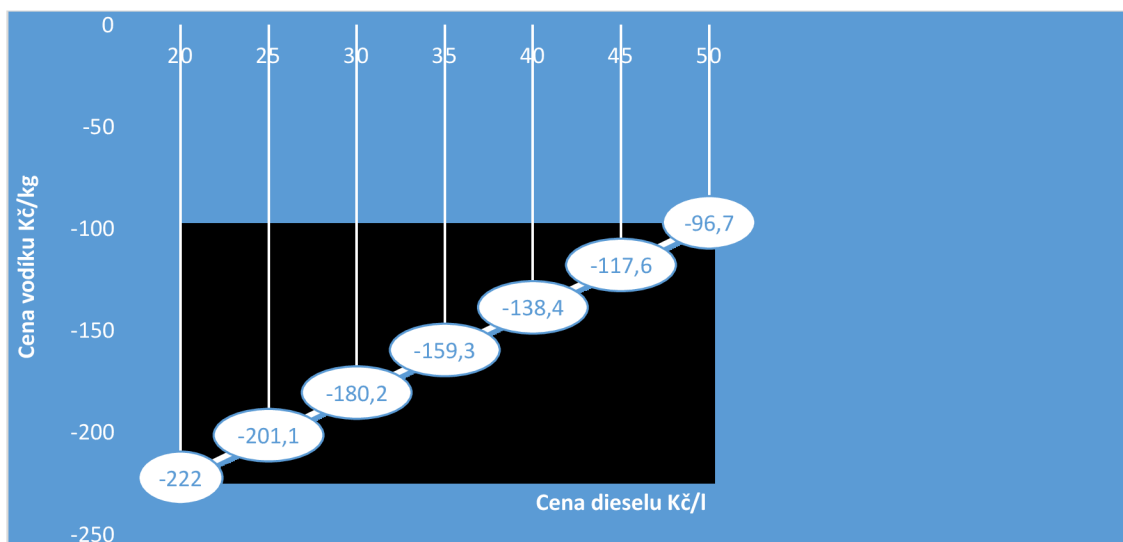
Výsledky samotného výpočtu jsou zaznamenány v následující tabulce, která ukazuje cenu vodíku při dané ceně dieselu tak, aby si celkové náklady na provoz vodíkového autobusu byly rovny s celkovými náklady na provoz dieselového autobusu.

Tab. 4.2 Porovnání cen dieselu k ceně vodíku

Cena Dieselu	20	25	30	35	40	45	50
Cena vodíku	-222	-201,1	-180,2	-159,3	-138,4	-117,6	-96,7

Zdroj: vlastní zpracování.

Tyto hodnoty byly dále použity k sestavení grafu 4.1, který určuje, při jakých cenách jednotlivých paliv, jsou celkové náklady na provoz jednotlivých druhů autobusů rovny.



Graf 4.1 Grafické znázornění tabulky 4.2

Zdroj: vlastní zpracování.

#### 4.4 Shrnutí

Z ekologického hlediska se dnes rozvoj vodíkového pohonu v autobusech městské hromadné dopravy jeví jako pohon budoucnosti. Je to proto, že inovace nových technologií snižují emise vozidel a omezují znečištění ovzduší a samozřejmě i hlukovou zátěž prostředí. Současné vysoké pořizovací náklady vozidel, vysoké náklady na pořízení čerpacích stanic, infrastruktury a vysoká cena vodíku dávají dnes za pravdu ekonomům, že z jejich pohledu je tento způsob dopravy v současné době nesmyslný. Je tedy jasné, že zavádění dopravy na vodíkový pohon má v současné době hlavně ekologické cíle. Podle všeobecných odhadů vývoje trhu bude ale v budoucnu nákupní cena čistých vozidel setrvale klesat. Očekávané snížení pořizovací ceny vozidel a potřebné infrastruktury v příštím desetiletí omezí překážky, které dnes brání ve větší dostupnosti vodíkových autobusů a jejich využívání. Už dnes je v oblasti zavádění vodíkových autobusů situace optimistická, protože již existuje řada společností, jejichž cílem je zavést výrobu těchto autobusů do sériové výroby. Mezi hlavní výrobce pro tento trh patří belgický výrobce Van Hool, německý Daimler, polský Solaris, čínský Zhongtong Bus, který je jedním z nejvýznamnějších producentů těchto autobusů a nesmí být zapomenuto ani na japonskou Toyotu, která se ale spíše zaměřuje na výrobu osobních automobilů na vodíkový pohon. Momentální pořizovací cena autobusu, jak už bylo v práci zmíněno, je asi 15,5 milionů korun. Tato dnešní cena v porovnání s cenou autobusů z 90 let

představuje pokles o 76 %. Předpokládaný pokles ceny autobusů, který bude souviset i se zavedením sériové výroby je takový, že v roce 2025 až 2030 by se cena mohla pohybovat kolem 10,5 milionu korun. [12] Značný potenciál při rozvoji vodíkových autobusů vykazuje autobusová doprava ale už i dnes díky podpoře mnoha projektů a dotačních programů, které byly zrealizovány, nebo ještě v současnosti probíhají. Aktuálně nejvíc objednaných autobusů na vodíkový pohon má Německo. Dalším aspektem, který není možné opomenout je infrastruktura potřebná pro provoz autobusů na vodíkový pohon. Základem jsou plnicí stanice na vodík jako palivo. Tyto stanice jsou samozřejmě budovány ve městech, v kterých se současně zavádí provoz autobusů na vodíkový pohon. Jsou budovány v podstatě dva druhy plnicích stanic, a to takové, které jsou zásobovány lokální výrobou vodíku, a ty, do kterých se vodík přiváží z externího zdroje. Pro ekologii je nejlepší na výrobu vodíku používat elektrickou energii z obnovitelných zdrojů. Ne v každé lokalitě s provozem vodíkových autobusů to ale je možné. Vybudování plnicí stanice je finančně náročné a také na jejich budování se používají finanční prostředky z mnoha projektů a dotačních programů, které už byly několikrát v práci uvedeny. [12]

## Závěr

Vzhledem k celosvětovému trendu o prosazování ekologického provozu dopravních prostředků a popularizaci alternativních paliv, které se v dopravě využívají, se bakalářská práce zaměřila na zhodnocení vodíkové technologie v autobusové městské a příměstské dopravě a prostřednictvím kalkulace nákladů byly porovnány náklady na provoz autobusů na vodík, s provozem autobusů na naftový pohon. Všechny informace použité v bakalářské práci byly použity z veřejně dostupných informací a zdrojů, přičemž byla také použita literatura, která byla doporučena vedoucím práce. Při zpracování práce bylo postupováno v souladu s pokyny VŠLG.

Cílem práce bylo zjistit, za jakých podmínek jsou z ekonomického hlediska provozu autobusů na vodík a diesel porovnatelné. Pro účel tohoto zjištění byly z veřejně dostupných zdrojů zjištěny vstupní hodnoty jednotlivých nákladů, na základě kterých byl pak proveden konkrétní výpočet.

Práce byla rozdělena do několika částí. V první části práce byl charakterizován vodík jako takový. Pak byly v krátkosti popsány vodíkové technologie, které se v dopravě využívají. Dále byly popsány různé způsoby získávání vodíku a zároveň bylo v této části konstatováno, že ekologická čistota vodíkového paliva je jen tak ekologická, jak je ekologická výroba energie, která je použita na výrobu samotného vodíku. Je ale nutno také podotknout, že vodík jako palivo je a vždy bude jenom nositelem energie a ne jejím zdrojem. V další části byla popsána historie a základní princip palivového článku, byly popsány jednotlivé typy palivových článků a možnosti skladování vodíkového paliva. Ve druhé části byly popsány potřeby podpory vodíkové technologie v městské a příměstské autobusové dopravě a dále byly specifikovány a podrobněji popsány jednotlivé podpůrné projekty a dotační programy, jejichž účelem je propagace a rozvoj bezemisní autobusové dopravy ve městech. Finanční prostředky z těchto programů jsou přímo použity na nákup vozidel a budování infrastruktury, která je nezbytnou součástí celé této dopravy. Byly konkrétně popsány země a jednotlivé regiony, ve kterých se i za pomoci těchto programů už dnes budují, nebo už jsou vybudovány a jen se doplňují celé vozidlové parky vodíkových autobusů. Na závěr druhé části práce bylo vybráno 5 měst s existujícím vozidlovým parkem vodíkových autobusů. Informace a data o těchto parcích, infrastruktuře, která je na jejich provoz potřebná, a financování parků byly rozepsané podrobněji. Ve třetí části práce byla popsána metodika kalkulace nákladů

v dopravě, dále bylo popsáno samotné pojetí nákladů, jejich rozdělení a následně všeobecné určení nákladů v dopravě matematicky. Následně v poslední části práce, která už přecházela do praktické části samotné práce, bylo počato srovnávání provozu vodíkových autobusů s dieselovými. V úvodu byl popsán postup řešení dle kalkulace nákladů v dopravě, dále byla vyhodnocena data. V další části bylo začato samotné ekonomické vyhodnocení. Byl určen cíl ekonomického vyhodnocení, který byl v určení ceny vodíku tak, aby byl celkový provoz vodíkových autobusů ekonomicky srovnatelný s celkovým provozem dieselových autobusů. Byly určeny vstupní údaje, které při samotném výpočtu musí být vzaty do úvahy. Následně byly určeny hodnoty těchto údajů a byl proveden samotný výpočet, který byl zapsán do tabulky a jeho výsledky znázorněny v grafu. Vyhodnocena tedy byla ekonomická efektivita obou pohonů v kontextu cen jednotlivých paliv, přičemž kromě ceny a spotřeby paliva bylo také počítáno s náklady na údržbu a opravy a s pořizovacími náklady autobusů. Jak bylo prokázáno realizovanými výpočty, aktuálně se provoz autobusů na vodíkový pohon provozovatelům ekonomicky nevyplácí. Na základě použitých dat a výpočtů je tedy možno konstatovat, že hlavní ekonomickou překážkou pro provoz autobusů na vodíkový pohon je jednak jejich vysoká pořizovací cena, která by měla v budoucnu klesat, dále vysoká cena paliva, které má taky tendenci v budoucnu klesat, ale v neposlední řadě vysoké pořizovací náklady na chybějící infrastrukturu potřebnou pro samotný provoz autobusů. Tento fakt se dnes ve velké míře snaží eliminovat různé podpůrné a dotační programy, jejichž hlavní cíl je podporovat bezemisní dopravu s cílem snížit produkci uhlovodíků a oxidů dusíku, které doprava produkuje. V této snaze je ale potřeba v rámci jednotlivých regionů systémově zapojit všechny regionální, celostátní a celoevropské orgány a instituce, jejichž prioritou je snížení emisí z dopravy ve městech, kde mají negativní dopad na životní prostředí. Do budoucna je možné vodíkový pohon z technologického hlediska považovat za velmi perspektivní, přičemž klíčové pro jeho masovější nasazování bude snižování cen dopravních prostředků, snižování cen samotného vodíkového paliva a dobudování chybějící infrastruktury potřebné pro provoz takového pohonu. Vodíkový pohon v dopravě má před sebou ještě určitě dlouhou cestu, ale zároveň perspektivní budoucnost.

## Seznam zdrojů

- [1] PŘÍSPĚVATELÉ WIKIPEDIE, Vodík [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2021, Datum poslední revize 2. 04. 2021, 17:10 UTC, [cit. 10. 4. 2020]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vod%C3%ADk>.
- [2] HYTEP, ČESKÁ VODÍKOVÁ TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA. [online]. 2007 [cit. 15. 4. 2020]. Dostupné z: <https://www.hytep.cz/cs/platforma/informace-o-platfome>.
- [3] HORČÍK, Jan. Čerpací stanice Benzina nabídnou také vodík. *Hybrid.cz* [online]. 2019 [cit. 18. 5. 2020]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/cerpaci-stanice-benzina-nabidnou-take-vodik>.
- [4] INSTITUTE OF CHEMISTRY. [online]. 2020 [cit. 1. 8. 2020]. Dostupné z: <https://chemistry.huji.ac.il/>.
- [5] BATTERY UNIVERSITY. BU-210: How does the Fuel Cell Work?, *batteryuniversity.com* [online]. [cit. 2020-10-25]. Dostupné z: [http://batteryuniversity.com/learn/article/fuel\\_cell\\_technology](http://batteryuniversity.com/learn/article/fuel_cell_technology).
- [6] NOVÁK, Vítězslav. Palivové články, principy, vlastnosti. In: *tzb-info.cz* [online]. [cit. 2020-7-5]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/teorie-obnovitelna-energie/6617-palivove-clanky-rozdeleni-principy-vlastnosti>.
- [7] H2SHOP. Skladování H2. *h2shop.cz* [online] [cit. 2020-3-3]. Dostupné z: [http://www.h2shop.cz/index.php?p=article&id=17&\\_sm\\_au\\_=iVVQmWH7msRpKMIQ23jRBsKHsLv0sM](http://www.h2shop.cz/index.php?p=article&id=17&_sm_au_=iVVQmWH7msRpKMIQ23jRBsKHsLv0sM).
- [8] RYBECKÝ, Vladimír. Vodíková doprava potřebuje podporu. *Autobible.euro.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-6-10]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/vodikova-doprava-potrebuje-podporu/>.
- [9] SMART CITY V PRAXI. Projekt JIVE 2: dvacet palivočlánkových autobusů a vodíková plnicí stanice pro Groningen. *www.smartcityvpraxi.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-9-13]. Dostupné z: [http://www.smartcityvpraxi.cz/zajimave\\_projekty\\_270.php?\\_sm\\_au\\_=iVVFQlWPS4S0Zf7Q23jRBKHsLv0sM](http://www.smartcityvpraxi.cz/zajimave_projekty_270.php?_sm_au_=iVVFQlWPS4S0Zf7Q23jRBKHsLv0sM).
- [10] H2BUS. H2Bus Europe UK – Denmark – Latvia. *h2bus.eu* [online]. Dostupné z: <https://h2bus.eu/deployment>.
- [11] HyER. Introduction. *www.hyer.eu* [online] Dostupné z: <http://hyer.eu/eu-projects/hytransit/>.

- [12] ÚJV ŘEŽ. Technicko-ekonomické posouzení implementace vodíkového pohonu v Ústeckém kraji: Etapa 2. ÚJV Řež, a. s. [online] © ÚJV Řež, a. s. 2020 [cit. 2021-3-15] Dostupné z: [https://www.kr-ustecky.cz/assets/File.ashx?id\\_org=450018&id\\_dokumenty=1746208](https://www.kr-ustecky.cz/assets/File.ashx?id_org=450018&id_dokumenty=1746208).
- [13] 3EMOTION. Locations. 3emotion.eu. [online] 2020 [cit. 2021-3-15]. Dostupné z: <https://3emotion.eu/locations>.
- [14] CHIC Clean hydrogen in European cities 2010–2016. Fuelcellbuses.eu [online] 2016 [cit. 2021-3-15]. Dostupné z: [https://www.fuelcellbuses.eu/sites/default/files/documents/CHIC\\_publication\\_final\\_0.pdf](https://www.fuelcellbuses.eu/sites/default/files/documents/CHIC_publication_final_0.pdf).
- [15] FUEL CELL ELECTRIC BUSES. Bus locations. Fuelcellbuses.eu [online] 2020 [cit. 2020-1-13]. Dostupné z: <https://www.fuelcellbuses.eu/category/demos-europe#main-content>.
- [16] TICHÝ, Jan. Metodika: Kalkulace nákladů silniční nákladní a osobní dopravy. [online]. Praha: Ústav logistiky a managementu dopravy, Fakulta dopravní ČVUT, 2014 [cit. 2020-4-13]. Dostupné z: [http://www.ioda.cz/\\_publikace/pub/2014\\_SACM\\_navod.pdf](http://www.ioda.cz/_publikace/pub/2014_SACM_navod.pdf).
- [17] ŘÍHA, Zdeněk a Jan TICHÝ. The Costs Calculation and Modelling in Transport. Transport Means 2015 - Proceedings of the International Conference. Kaunas: Technical University, 2015, s. 388-391. ISSN 1822-296X.
- [18] TICHÁ, Alena a Jan TICHÝ. Financing of Transportation in the Czech Republic (2012) People, Buildings and Environment 2012. Brno: Technical University in Brno, p. 227-232. ISBN 978-80-214-4628-1.
- [19] ŘÍHA, Zdeněk, TICHÝ, Jan a Ondřej SMÍŠEK. Utilization of CNG and LNG in Transportation. 16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016, book 5: Ecology, Economics, Education and Legislation. Sofia: Bulgarian Academy of Sciences, 2016, s. 901-907. ISSN 1314-2704. ISBN 978-619-7105-66-7.

# Seznam grafických zdrojů

## Seznam obrázků

Obr. 1.1 Rozšířené schéma vodíkové ekonomiky .....	12
Obr. 1.2 Zdroje vodíku v ČR v kontextu sítě.....	14
Obr. 1.3 Palivový článek W. R. GROVEA .....	15
Obr. 1.4 Princip palivového článku .....	17
Obr. 2.1 loga JIVE a JIVE 2 .....	25
Obr. 2.2 Logo Chic .....	26
Obr. 2.3 logo H2Bus .....	27
Obr. 2.4 Logo HyTransit.....	27
Obr. 2.5 Logo 3EMOTION .....	28
Obr. 2.6 Místa provozu a plánovaného provozu vodíkových autobusů .....	28
Obr. 2.7 Street Deck v Aberdeenu, .....	30
Obr. 2.8 Wuppertal palivo-článekový autobus .....	31
Obr. 2.9 Solaris Kolín nad Rýnem .....	32
Obr. 2.10 Patrový palivo-článekový autobus Londýn .....	33
Obr. 2.11 Palivo-článekový autobus Groningen, .....	34

## Seznam tabulek

Tab. 2.1 Klíčové specifikace od pěti dodavatelů autobusů s palivovými články z projektu CHIC.....	26
Tab. 2.2 Počet autobusů na vodíkový pohon ve vybraných městech .....	29
Tab. 4.1 Vstupní hodnoty pro výpočet .....	45
Tab. 4.2 Porovnání cen dieselu k ceně vodíku .....	45

## Graf

Graf 4.1 Grafické znázornění tabulky 4.2.....	46
---	----



## Seznam zkratek

3EMOTION	Ekologický efektivní elektrický pohyb (Environmentally friendly Efficient Electric Motion )
AFC	Alkalický palivový článek (Alkaline fuel cell)
CHIC	Čistý vodík v evropských městech (Clean Hydrogen in European Cities)
CO	Oxid uhelnatý (Carbon Monoxide)
ČR	Česká republika (Czech Republic)
EU	Evropská unie (European union)
FCH-JU	Společný podnik na palivové články a vodík (Fuel cells and hydrogen joint undertaking)
H2BUS	Skupina společností s ambicemi spojovat své síly v komercializaci autobusů s palivovými články v Evropě.
H	Vodík (Hydrogenium)
High V.LO-City	Města urychlující integraci vodíkových autobusů do veřejných vozových parků (Cities speeding up the integration of hydrogen buses in publik fleets)
HyTransit	Vodíkové přepravní autobusy ve Skotsku (Hydrogen transport buses in Scotland)
JIVE	Společná iniciativa pro vodíková vozidla v celé Evropě (Joint initiative for hydrogen vehicles across Europe)
MCFC	Palivový článek s roztavenými uhličitany (Molten carbonate fuel cell)
PAFC	Palivový článek s Kyselinou fosforečnou (Phosporic acid FC)
PEMFC	Palivový článek s polymerním elektrolytem (Polymer electrolyte membrane fuel cell)
SOFC	Palivový článek s tuhými oxidy (Solid oxide fuel cell)
UITP	Mezinárodní unie veřejné dopravy (The international association of public transport)
US DOE	Americký úřad pro energii (United States Department of Energy)

<b>Autor/ka</b>	<b>Marián Líška</b>
<b>Název BP</b>	<b>Využití autobusů s vodíkovým pohonem v městské dopravě</b>
<b>Studijní obor</b>	<b>DOL</b>
<b>Rok obhajoby BP</b>	<b>2021</b>
<b>Počet stran</b>	41
<b>Počet příloh</b>	0
<b>Vedoucí BP</b>	<b>Doc. Ing. Zdeněk Říha, Ph.D.</b>
<b>Anotace</b>	<p>Tato bakalářská práce se věnuje využití autobusů s vodíkovým pohonem v městské dopravě a ekonomickému porovnání tohoto provozu s provozem autobusů na diesellový pohon. První část bakalářské práce se bude věnovat vodíku jako takovému, dále se bude analyzovat a charakterizovat vodíkový pohon, budou rozebrány výhody a nevýhody vodíkového pohonu. V práci bude popsán způsob skladování vodíkového paliva. V druhé části práce budou popsány evropské zkušenosti s vodíkovým pohonem v městské hromadné dopravě. V další části práce bude popsána metodika nákladů v dopravě a na závěr bude zhodnoceno ekonomické hledisko vodíkového pohonu autobusů v městské hromadné dopravě s porovnáním autobusů na diesellový pohon.</p>
<b>Klíčová slova</b>	vodíkový pohon, vodík, alternativní, autobusová, městská
<b>Místo uložení</b>	ITC (knihovna) Vysoké školy logistiky v Přerově
<b>Signatura</b>	