

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ  
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**BRNO 2017**

**MAREK HŘEBÍČEK**

**Mendelova univerzita v Brně**  
**Agronomická fakulta**  
**Ústav techniky a automobilové dopravy**

---



**Hodnocení technických parametrů pohonů  
elektrických vozidel s palivovými články**

**Bakalářská práce**

*Vedoucí práce:*  
prof. Ing. František Bauer, CSc.

*Vypracoval:*  
Marek Hřebíček

---

Brno 2017

## **Zadání bakalářské práce**

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci:.....

.....  
vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....  
podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Františkovi Bauerovi, CSc. za jeho ochotu, cenné připomínky a rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce. Děkuji také svým blízkým za podporu během studia.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá vypracováním přehledu a hodnocení technických parametrů pohonů vozidel s palivovými články. Úvodní strany práce jsou věnovány historii a vývoji palivových článků s návazností na energetické prostředky, dále pak principy funkce a druhy palivových článků. V následujících kapitolách je dále zpracovávána problematika palivových článků a jsou představeny jednotlivé koncepty výrobců využívající princip palivového článku k pohonu energetických prostředků a jejich technické parametry. Tyto údaje jsou v dalších kapitolách tabulkově zpracovány a komentovány. Dále je vytvořen grafický přehled jednotlivých parametrů ke srovnání uvedených konceptů. Závěrečné části práce se taktéž věnují srovnání technických parametrů konvenčních pohonů a klasických elektromobilů, data jsou dále graficky zpracována. V závěru práce se vyskytuje souhrnné hodnocení řešené problematiky vozidel s palivovými články.

### **Klíčová slova:**

Palivový článek, Automobil, Alternativní pohon, Skladování vodíku, Maximální výkon, Maximální točivý moment, Technické parametry

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis elaborates about the fuel cell cars. The introductory section describes the history and development of fuel cells, principles of function and types of fuel cells used in automobiles. The following chapters deals with fuel cell issues and represent individual concepts of different manufacturers using fuel cells to propel automobiles, and their specifications. The technical parameters are overall processed and there are the tables and graph for their compare. The last pages of bachelor thesis shows the overviews with different type of propulsion car and the results of the comparisons are commented.

### **Keywords:**

Fuel cell, Car, Alternative drive, Hydrogen storage, Max output, Max torque, Technical parameters

# OBSAH

1	Úvod.....	9
2	Cíl práce .....	10
3	Historie palivových článků .....	11
4	Palivové články .....	12
4.1	Základní princip činnosti.....	13
4.2	Soubor palivových článků.....	14
4.3	Základní rozdělení palivových článků .....	14
4.3.1	Alkalické články (AFC) .....	15
4.3.2	Články polymerní s iontoměničovou membránou (PEMFC).....	15
4.3.3	Články s kyselinou fosforečnou (PAFC).....	16
4.3.4	Články s roztavenými uhlíčitany (MCFC) .....	16
4.3.5	Články s tuhými oxidy (SOFC) .....	17
4.3.6	Přehled elektrochemických reakcí.....	17
4.4	Účinnost palivových článků.....	18
4.4.1	Maximální teoretická účinnost $\eta_{\max}$ .....	18
4.4.2	Stupeň využití paliva $U_f$ .....	18
4.4.3	Napětová účinnost $\eta_v$ .....	18
4.4.4	Celková elektrochemická účinnost palivového článku $\eta_{FC}$ .....	19
5	Pohony vozidel s palivovými články .....	20
6	Automobilové koncepce vozidel s palivovými články .....	21
6.1	Honda Clarity Fuel Cell .....	21
6.1.1	Technické parametry .....	22
6.2	Hyundai Tucson FCEV .....	22
6.2.1	Technické parametry .....	24
6.3	Toyota Mirai FCV .....	24
6.3.1	Technické parametry .....	25
6.4	Mercedes-Benz B F-Cell.....	26
6.4.1	Technické parametry .....	27
6.5	Volkswagen Golf Variant HyMotion.....	27
6.5.1	Technické parametry .....	28
6.6	General Motors HydroGen4.....	29
6.6.1	Technické parametry .....	30

6.7	Ford Focus FCV .....	31
6.7.1	Technické parametry .....	31
7	Porovnávání technický parametrů .....	32
7.1	Vodíkové pohony .....	32
7.1.1	Porovnání jednotlivých vodíkových pohonů .....	32
7.1.2	Porovnání vozidel s palivovými články na dostupném komerčním trhu.....	37
7.2	Technické parametry rozdílných pohonů .....	38
7.2.1	Technické parametry VW e-Golf .....	38
7.2.2	Technické parametry Škoda Octavia III 1,4 TSI.....	39
7.2.3	Srovnání technických parametrů rozdílných pohonů .....	39
8	Závěr .....	42
9	Seznam použité literatury .....	44
10	Seznam obrázků .....	46
11	Seznam tabulek .....	47



# 1 ÚVOD

V reakci na světovou vzrůstající spotřebu fosilních paliv od počátku 50. let (ropy, uhlí a zemního plynu) a s ohledem na snižování emisního zatížení životního prostředí, patří vývoj a výroba pohonných agregátů využívající alternativní zdroj energie k jednomu z nejvíce progresivního odvětví posledních let. Zdroje financování těchto projektů jsou snahou vybudovat stabilní, ekonomický, provozuschopný pohon využívající obnovitelný zdroj energie, s minimálním dopadem na životní prostředí. Jedním z možných řešení problematiky alternativních pohonů v dopravním průmyslu jsou elektromobily koncepčně spojené s palivovými články, využívající vodík jako palivo.

Experimentální pohony využívající zdroj energie z přeměny vodíku, sahají již na začátek 19. stol. Zde byl poprvé vodík využit jako pohon motoru s vnitřním spalováním, zkonstruovaný švýcarským inženýrem Francois Isaac de Rivaz. V průběhu vývoje techniky a prostředků se motory spalující vodík, díky svému nízkému výkonu a špatné spolehlivosti, dále pak problematickému konstrukčnímu řešení skladování paliva, dostávají do pozadí. Jsou nahrazeny spolehlivějšími motory, dosahující lepších výkonových parametrů, s vnitřním spalováním fosilních paliv. Jednu z prvních větších revolucí, z hlediska volby alternativních pohonů, zažívá vodík až na konci 60 let dvacátého století. Zde byl poprvé využit v přímém procesu přeměny energie v palivovém článku v kombinaci s elektrickým motorem, jakožto pohon traktoru Allis-Chalmers. Tyto palivové články dodávaly celkový výkon 15 kW. Historicky prvním automobilem s vodíkovými články byl GM Electrovan z roku 1966. Dále se především v USA rozběhly experimenty s vodíkem ve větším množství. Vývoj palivových článků, ve spojení s automobilovým průmyslem, má tak za sebou již dlouhou dobu. Celkovému rozšíření výrobních procesů však brání značná komplikovanost mnoha výrobních faktorů. Především se jedná o drahou výrobní technologii a použité materiály samotného palivového článku. Dále pak výroba, distribuce, skladování paliva a ekonomický, technologicky náročné budování infrastruktury čerpacích stanic.

Bez ohledu na zmíněné komerční překážky, jsou společnosti produkující pohonné jednotky, nuceny zaměřovat své výrobní procesy a vývoje směrem k motorům, které minimalizující dopad na životní prostředí. Nejvíce rozšířeným bezemisním alternativním prostředkem 21.stol, je elektromobil využívající zdroj energie z vysokokapacitních akumulátorů. [25]

## **2 CÍL PRÁCE**

Cílem bakalářské práce je vypracovat přehled a současný stav elektrických vozidel s pohonem s palivovými články. U vybraných typů shromáždit technické parametry, tabulkově a graficky zpracovat. Získané hodnoty analyzovat se zaměřením na vybrané technické parametry. Z provedené analýzy formulovat závěry.

### 3 HISTORIE PALIVOVÝCH ČLÁNKŮ

Princip funkce palivových článků byl objeven švýcarským vědcem Christianem Friedrichem Schönbeinem v roce 1838. Tento princip dále popsal v publikaci, která vyšla v lednu následujícího roku. Na základě této práce byl sestaven první prototyp palivového článku britským soudcem a vynálezcem William Grovem. Zjistil že, díky popsaným vlastnostem, je možné vyrábět elektřinu procesem inverzním k elektrolýze vody. Jeho článek měl elektrody vyrobené z platiny umístěné ve skleněných trubicích, jejichž dolní konec byl ponořen do roztoku kyseliny sírové, představující elektrolyt a horní izolovaná část byla vyplněna vodíkem a kyslíkem. Článek dosahoval napětí přibližně 1 V. Jako indikátor vzniku elektrické energie sloužila nádoba, ve které probíhala elektrolýza vody. Jelikož však zařízení neprodukovalo dostatečný výkon elektrické energie, tak aby ho bylo možno sériově využívat v průmyslu, upadl palivový článek částečně v zapomnění s vynálezem dynama v roce 1867.

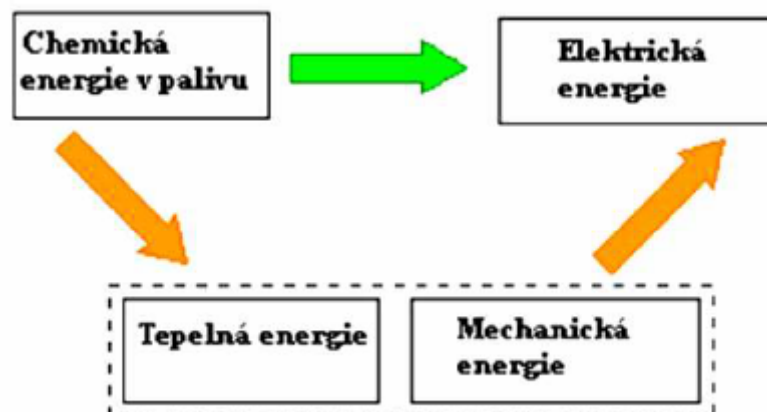
V roce 1899 se pokusili sestavit funkční prototyp článku pracující se vzduchem a svítíplynem inženýři Ludwig Mond a Charles Langer. V souvislosti s touto prací byl také poprvé použit termín "palivový článek" (fuel cell). Výroba takové článku však byla příliš finančně náročná a uplatnění v průmyslu malé. Jako další zdroj jednoho z prvních konceptů palivového článku se uvádí William White Jacques se svým článkem využívající kyselinu fosforečnou jako elektrolyt.

V roce 1932 Dr. Francis Thomas Bacon vyrobil pravděpodobně první úspěšné zařízení s palivovým článkem. Elektrody byly vyrobeny z niklu a kyselý elektrolyt byl nahrazen zásaditým (KOH), se stejnou funkční vlastností, avšak bez korozivních účinků. Vznikl tak jeden z prvních prakticky využitelných článků. V roce 1952 měl zdroj založený na tomto článku stabilní výkon 5 kW a byl schopen pohánět svářečský stroj. Největší technologický rozvoj vypukl v průběhu 60. let dvacátého století, kdy americký vesmírný program poprvé použil palivové články jako nezávislý zdroj elektrické energie vesmírných modulů Apollo. Tímto činem byl nastartován intenzivní vývoj těchto článků v mnoha zemích. [4], [25]

## 4 PALIVOVÉ ČLÁNKY

Palivové články představují technologii výroby elektrické energie dosahující téměř bezemisního provozu s vysokou účinností. V nitru zařízení dochází k přímé přeměně vnitřní energie paliva na energii elektrickou na základě elektrochemických procesů, tedy umožňuje přeměnu energie paliva bez nutnosti tepelného nebo mechanického přechodu mezistupně viz obr. 1, který je značným ztrátovým faktorem výsledné účinnosti. Z předešlé věty lze tedy soudit že, palivové články jsou v principu podobné článkům primárním či sekundárním (bateriím), avšak v základu funkce zde existují značné rozdíly. Zásadní rozdíl spočívá v přísunu aktivní chemické látky, ta je zde přiváděna průběžně z vnějšku, zatím co u článků bateriových jsou aktivní látky součástí obsahu baterie. V procesu palivového článku působí obě elektrody výlučně pak jako katalyzátor chemických přeměn. Tento fakt umožňuje funkci téměř bez opotřebení a bez změny chemického složení. V případě že jsou aktivní látky neustále dodávány do systému palivového článku, může pracovat prakticky neomezenou dobu. Mizí zde proto i pojem kapacita článku. Kromě napětí je dalším charakteristickým parametrem také velikost proudů, výkon odebíraný z 1dm<sup>2</sup> elektrod, měrný výkon [W/kg], objemový výkon [W/dm<sup>3</sup>] nebo výkon na jednotku plochy elektrod [W/cm<sup>2</sup>]. Pracovní teplota většiny palivových článků je vyšší, u některých typů velmi výrazněji, než v baterii. Toto se odráží jednak v době náběhu palivového článku, která je nezbytná pro dosažení jmenovitých pracovních parametrů, dále pak v technologii jejich výroby. [5]

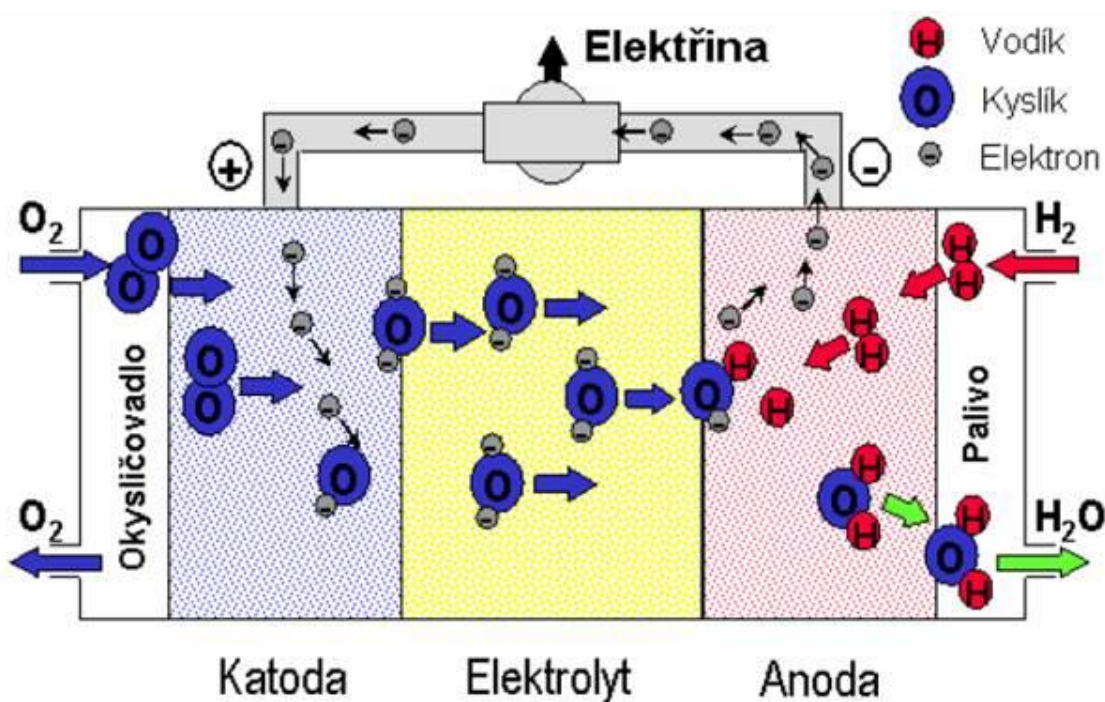
..



Obr. 1 Průběh změny energie při přechodu stavu [4]

## 4.1 Základní princip činnosti

Základní princip činnosti je poměrně jednoduchý. Na zápornou elektrodu (anodu), taktéž označována jako palivová, se přivádí aktivní látka (palivo). Zde se atomy aktivní látky zbavují, často za přispění katalyzátoru, jednoho nebo více elektronu, tedy dochází k oxidaci paliva. Uvolněné elektrony představují elektrický proud, pohybující se vnějším obvodem ke kladné elektrodě (katodě). Na této kladné elektrodě probíhá děj opačný, kdy atomy přiváděného okysličovadla elektrony přijímají za současné reakce s kladnými ionty, které pronikají elektrolytem, dochází k redukci. V případě přerušení vnějšího obvodu dodávky paliva, dojde k okamžitému zastavení chemických reakcí z důvodů deficitu elektronů v systému. [1]



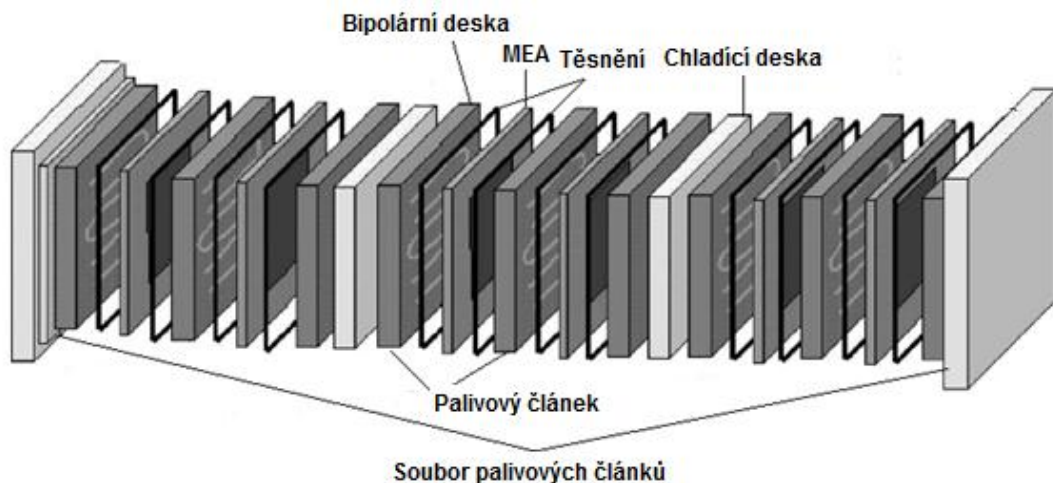
Obr. 2 Princip funkce palivového článku [4]

Aktivní látkou přiváděnou na anodu palivového článku, tedy (palivem) mohou být kromě plynných látek taktéž kapalné i tuhé látky. Z plynných forem paliva lze jmenovat již zmíněný vodík  $H_2$ , dále pak oxid uhličitý  $CO_2$ , oxid uhelnatý  $CO$ , nebo methan  $CH_4$ . Z kapalných hydrazin  $N_2H_4$ , metanol  $CH_3OH$  a další složitější alkoholy. Z tuhých látek to jsou některé kovy (hořčík  $Mg$ , sodík  $Na$ , kadmium  $Cd$ , zinek  $Zn$ ). Záporná palivová elektroda musí být přizpůsobena přiváděnému skupenství aktivní látky. Je-li palivem např. plyn, musí být na elektrodě co nejvíce míst kde se může setkávat fáze pevná (elektroda, katalyzátor), kapalná (elektrolyt) a plynná (aktivní

látka). V případě, že je palivem kapalina, pracuje elektroda pouze s pevnou a kapalnou fází. Palivo se k elektrodě přivádí v rozpuštěném elektrolytu. Rozhodujícím faktorem se tedy stává velikost aktivního povrchu elektrody. Záporná elektroda je pak od kladné oddělená separátorem, který propouští jen kladné ionty. [1], [3]

## 4.2 Soubor palivových článků

Aby byly palivové články využitelné v širokém spektru výkonových tříd, je nutné elementární články spojovat do větších celků. Z důvodu omezení ohmických ztrát a s ohledem na konstrukční hlediska se volí převážně metoda sériového zapojení. V závislosti na množství zapojení elementárních palivových článků, lze dosáhnout prakticky neomezeného výkonu sestavy. Tento fakt se projevuje i na výsledné účinnosti, která dosahuje téměř totožných hodnot článků s výkonem v řádech wattu, po výkonnostní třídy pracující v mezích megawatt. [6]



Obr. 3 Rozklad souboru palivového článku [19]

## 4.3 Základní rozdělení palivových článků

Existuje více funkčních druhů palivových článků, které se od sebe liší především typem zvoleného elektrolytu a provozní teplotou. V závislosti na uspořádání se pak jednotlivé procesy liší chemickými reakcemi probíhajícími na elektrodách i účinnosti elektrochemických přeměn. Z hlediska teploty provozu rozdělujeme články na nízkoteplotní 60÷130 °C, středněteplotní 160÷220 °C, vysokoteplotní 600÷1050 °C. Všechny níže uvedené typy palivových článků, jsou způsobilé pro spalování vodíku  $H_2$ .

**Tab. 1 Rozdělení palivových článků podle provozní teploty [4]**

	<b>Provozní teplota [°C]</b>	<b>Palivo</b>	<b>Okysličovadlo</b>
<b>AFC</b>	70 ÷ 220	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
<b>PEMF</b>	80 ÷ 120	H <sub>2</sub> , methanol <sup>2</sup>	O <sub>2</sub> ze vzduchu
<b>PAFC</b>	170 ÷ 200	H <sub>2</sub> , zemní plyn <sup>2</sup>	O <sub>2</sub> ze vzduchu
<b>MCFC</b>	600 ÷ 700	H <sub>2</sub> , CO, zemní plyn <sup>3</sup>	O <sub>2</sub> ze vzduchu
<b>SOFC</b>	650 ÷ 1000	H <sub>2</sub> , CO, zemní plyn <sup>3</sup>	O <sub>2</sub> ze vzduchu

#### 4.3.1 Alkalické články (AFC)

Alkalické palivové články s elektrolytem zředěného hydroxidu draselného (KOH), představují jeden z prvních moderních typů palivových článků s nejdelší historií vývoje. Obě elektrody jsou vyrobeny ze spékaného niklového prášku s přísadou uhlíku za účelem zvýšení elektrické vodivosti a dále jsou opatřené katalyzační vrstvičkou platiny. Pracovní teplota článku se pohybuje v rozmezí od 50 do 100 °C. Účinnost systému, díky rychlé redukci kyslíku v alkalickém elektrolytu, dosahuje hodnoty 70%. Další výhodou je značná energetická vydatnost a také množství odpadní vody vhodné k následné recyklaci. Nevýhodou systému je pořizovací cena, kterou většinou navýší nutnost použití platiny, jako katalyzační složku článku. [1], [2]

#### 4.3.2 Články polymerní s iontoměničovou membránou (PEMFC)

Palivové články s polymerní iontoměničovou membránou jsou charakteristické vysokou proudovou hustotou, což umožňuje konstrukce s nízkou hmotností a menšími rozměry. Volba elektrolytu je v tomto typu článku zastoupena polymerní iontoměničovou membránou, která obsahuje chemicky vázané funkční skupiny sirných derivátů, konkrétně kyselinu sulfonovou (SO<sub>3</sub>H). Díky nízké provozní teplotě 70-85 °C je zajištěn rychlý náběh palivového článku. Plošný výkon pak dosahuje více než 2W/cm<sup>2</sup>. Anoda a katoda jsou vyrobeny aplikací malého množství platinové čerňi na jednu stranu tekutého listu porézního grafického papíru, jenž byl předem opatřen teflonovou ochranou proti zvlhnutí.

Společnost General Motors jako první vyvinula systém palivového článku, pracují s polymerní membránou již v roce 1963, kde byly články poprvé využity při vesmírném programu Gemini. Modul obsahoval celkem 32 článků a dosahoval výkonu 1 kW. [4], [1]

### 4.3.3 Články s kyselinou fosforečnou (PAFC)

Články s kyselinou fosforečnou byly jedny z prvních článků, dodávané na komerční trh. Elektrolytem je kyselina fosforečná, která je obsažená v matrici z karbidů křemíku s přísadou teflonu. Elektrody jsou tenké destičky z pórovitého uhlíku s platinovým povlakem ve funkci katalyzátoru. Palivové články pak mají výrazně lepší stabilitu provozu a zvyšuje se celkový výkon procesu. Tento způsob sestavy byl poprvé testován v průběhu 60 let dvacátého století. Iontová vodivost kyseliny fosforečné je lineární funkcí teploty. K podpoře zvýšení účinnosti jsou tedy palivové články provozovány v rozsahu teplot 190 - 210 °C.

V závislosti na aktuální provozní teplotě mohou nastat dva nežádoucí jevy. Při teplotách pod spodní krajní mezí palivového článku je část vodní páry pohlcena elektrolytem. Naopak v případě soustavnější práce palivového článku v horní mezi teplotního intervalu, dochází k rozkladu elektrolytu a degradování článku. Plošný výkon těchto článků se pohybuje kolem 0,2W/cm<sup>2</sup> s elektrickou účinností až 42 %. Jsou velmi spolehlivé, toto se také potvrdilo při nasazení v kosmických programech s nepřetržitou funkcí palivového článku jednoho roku. [4], [5]

### 4.3.4 Články s roztavenými uhličitany (MCFC)

Palivový článek s roztavenými uhličitany je vysokoteplotní článek pracující s teplotou až 600 °C. Jeho elektrolytem je směs roztavených uhličitánů v pórovité chemicky inertní keramické matrici, složené ze směsi oxidů lithia a hliníku. Složení elektrolytu se může také měnit, ale zpravidla zde bývá obsažen uhličitán lithný (Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) s uhličitánem draselným (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Elektrody musí být navrženy s ohledem na velmi vysoké provozní teploty a také musí odolávat korozivním vlivům. Vysoce porézní anoda je vyrobena spékáním práškového niklu v poměru s chromem. Katoda je vyrobena míšením lithia a oxidu nikelnatého. Životnost článku výrazně ovlivňuje rychlost vznikající koroze. Teoretické napětí článku i elektrická účinnost je závislá na teplotě. Vyšší teplota v procesu způsobuje urychlování chemických reakcí a tedy i velikost proudu při daném napětí. Obecně lze soudit, že výstupní výkon článku s roztavenými uhličitany je o něco vyšší, než u článku pracující s kyselinou fosforečnou. Nevýhodou je neefektivní uvádění článku do provozu, způsobenou pracovní teplotou. Jako další by mohlo být nebezpečí případné otravy sírou, která je v palivu obsažená. [1]



#### 4.3.5 Články s tuhými oxidy (SOFC)

Články s tuhými oxidy využívají výhod keramického elektrolytu, nejčastěji tuhá směs oxidů yttria a zirkonu, která nevyvolává korozi a eliminuje problémy spojené s tekutým elektrolytem. V současnosti to jsou také články pracující s nejvyšší provozní teplotou procesu. Pro dosažení zvýšení iontové vodivosti a účinnosti systému, musí být tato teplota blízká až 1000 °C. Při takto vysokých hodnotách není nutno použít katalyzátor. Pokles teploty o 10% znamená pokles výkonu přibližně o 12%, a to v důsledku vzrůstu vnitřního odporu elektrolytu směsi oxidů yttria a zirkonu vůči pronikání kyslíkových aniontů.

Anoda je vyrobena z niklu a oxidu zirkoničitého (ZrO<sub>2</sub>) stabilizovaného oxidem yttritým (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Tyto látky pak lépe zabraňují spékání částic niklu ve vysokoteplotním prostředí. Katoda je vyrobena ze slitiny lanthanu a oxidu manganového dopované malým množstvím stroncia. Tato slitina vykazuje vlastnosti polovodiče typu p. Palivem jsou nejčastěji plynné látky získané zpracováním uhlí. Tyto látky mohou obsahovat čistý vodík H<sub>2</sub>, oxid uhelnatý CO, případně metan CH<sub>4</sub>.

Napětí článku je přibližně 0.6 V při proudové hustotě cca 0.25 A/cm<sup>2</sup>. Životnost je uvedena něco okolo 30000 hodin. Elektrická účinnost článku závisí především na tlaku paliva a vzduchu. Při atmosférickém tlaku je tato účinnost okolo 45%, při práci s vyšším tlakem se může dostat až na 60%. Využije-li se odpadní teplo způsobené nevratnými změnami v prospěch systému, vzroste účinnost o dalších několik desítek procent. [1],[4]

#### 4.3.6 Přehled elektrochemických reakcí

Tab. 2 Přehled elektrochemických reakcí palivových článků [4]

	Reakce na anodě	Reakce na katodě
<b>AFC</b>	$H_2 + 2(OH)^- \rightarrow 2H_2O + 2e^-$	$1/2 O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2(OH)^-$
<b>PEMFC</b>	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	$1/2 O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$
<b>PAFC</b>	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	$1/2 O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$
<b>MCFC</b>	$H_2 + CO_3^{2-} \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$ $CO + CO_3^{2-} \rightarrow 2CO_2 + 2e^-$	$1/2 O_2 + CO_2 + 2e^- \rightarrow CO_3^{2-}$
<b>SOFC</b>	$H_2 + O^{2-} \rightarrow H_2O + 2e^-$ $CO + O^{2-} \rightarrow CO_2 + 2e^-$ $CH_4 + 4O^{2-} \rightarrow 2H_2O + CO_2 + 8e^-$	$1/2 O_2 + 2e^- \rightarrow O^{2-}$

## 4.4 Účinnost palivových článků

### 4.4.1 Maximální teoretická účinnost $\eta_{\max}$

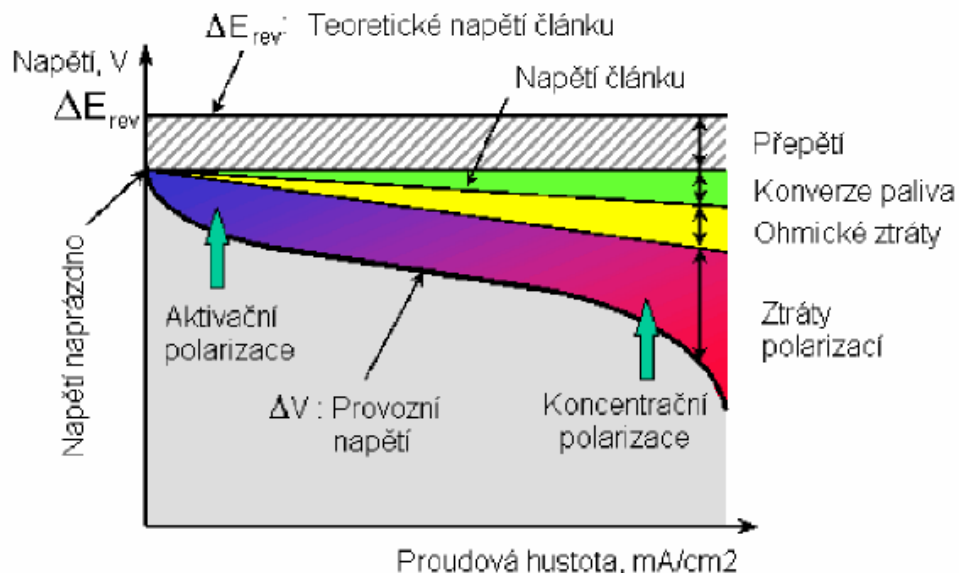
Tak jako u strojů pracujících na základě tepelných oběhů, zde je maximální možná účinnost omezená účinností ideálního Carnotova cyklu, tak i u palivového článku za předpokladu ideálních podmínek a dokonale vratných dějů lze definovat teoretickou účinnost. Tento vztah vyplývá z poměru maximální možné energie přeměnitelné při slučování paliva a okysličovadla při daných podmínkách na elektřinu (představovaná změnou Gibbsovy volné entalpie) ku slučovacímu teplu za referenčních podmínek (25°C, 101325Pa). Reálné podmínky a děje probíhající v palivovém článku je však nutno respektovat zavedením dílčích účinností. Ztráty vniklé nevratnosti jsou dále konvertovány na využitě teplo. [4]

### 4.4.2 Stupeň využití paliva $U_f$

Udává poměr paliva se skutečnou reakcí elektrochemického procesu palivového článku ku celkovému množství paliva. Tato hodnota se dá zjistit pouze experimentálně. V případě použití paliva čistého vodíku se hodnota využití blíží hranici 100%. V případě článků na zemní plyn se tato hodnota pohybuje v intervalu (70÷85)%. [6]

### 4.4.3 Napěťová účinnost $\eta_v$

Udává poměr skutečného svorkového napětí, u kterého je nutné uvažovat především ztráty způsobené nevratnými změnami konvertované viz obr. 4, ku napětí teoretickému. Pro výpočet teoretického napětí se uvažuje počet elektronů účastnících se chemické reakce vztaženou na jednotku molekuly paliva a Faradayova konstanta, definovaná jako součin elementárního elektrického náboje a Avogadrovy konstanty. Tato účinnost je tedy závislá na výsledném proudovém zatížení elektrod.



Obr. 4 V-A charakteristika palivového článku se ztrátovými faktory [4]

Z grafu voltampérové charakteristiky (V-A) lze pozorovat že, nejvyšší napětí a tím i stupeň využití paliva  $U_f$ , je při nízkém zatížení palivového článku. Palivové články lze také krátkodobě přetěžovat až o násobky svého výkonu a to za předpokladu dostatečné dávky paliva, dodatečného chlazení a odvodu vzniklých produktů na úkor účinnosti systému. [4], [6]

#### 4.4.4 Celková elektrochemická účinnost palivového článku $\eta_{FC}$

Celková elektrochemická účinnost udává poměr elektrické práce palivového článku při dané teplotě, ku změně slučovací entalpie za standardních podmínek. Tedy je definovaná jako součin zavedených účinností, určující ztráty v dílčích stavech elektrochemického procesu. Toto vyjádření se týká pouze vlastní přeměny v palivovém článku. Do vztahu pro čistou elektrickou účinnost je třeba zahrnout také účinnost nutnou pro transformaci stejnosměrného proudu na střídavý, tedy účinnost invertoru. Ta se pohybuje v rozmezí 96 až 98%. Pro účinnost celého zařízení je třeba uvažovat i vlastní spotřebu systému nutnému pro provoz (dmyhadla, kompresor). Tato hodnota může znamenat snížení celkové účinnosti až o 10%. [4], [6]

## 5 POHONY VOZIEL S PALIVOVÝMI ČLÁNKY

Elektrická energie generovaná v palivovém článku slouží jako náhrada pro konvenční baterie elektromobilů. Schopnost dodávat potřebný stálý výkon zde nezávisí v zásadě na kapacitě bateriových článků, ale závisí pouze na aktuálním přísunu aktivních látek (paliva)

I přes relativně ideální parametry výkonové charakteristiky s návazností na plynulou regulaci elektromotorů, je u dopravních prostředků využívající elektromotorů k pohonu, do jisté míry z konstrukčních důvodů, výhodné použít koncepci s klasickým uspořádáním, motor, hnací hřídele, diferenciál, rozvodová skříň. Tyto důvody jsou z konstrukčního a finančního hlediska zcela zřejmé, s vnitřním výkonem elektromotoru roste jeho zástavbová velikost a tím i hmotnost a cena. Využití klasického konceptu hnacího ústrojí vozidla, umožňuje tyto parametry částečně redukovat. V praxi jsou zkoušeny téměř všechny druhy elektromotorů, sériový stejnosměrný motor, stejnosměrný s cizím buzením, asynchronní motor s tranzistorovou regulací a synchronní motor s ornamentními magnety. Z důvodu dodržení rozsahu práce jsou uvedené druhy elektromotorů jen výběrem motorů z největší četností zastoupení v automobilovém průmyslu, avšak varianta výběru použití typu elektromotoru k pohonu nemá praktické limity, záleží vždy na konkrétním způsobu technické řešení vozidla. [1]



Obr. 5 AC Synchronní elektromotor [16]

## 6 AUTOMOBILOVÉ KONCEPCE VOZIDEL S PALIVOVÝMI ČLÁNKY

### 6.1 Honda Clarity Fuel Cell

Společnost Honda pracuje na snižování dopadu provozu automobilů na životní prostředí již dlouhou dobu. První koncepce s označení FCX-1 a FCX2 byly zkonstruovány již v roce 1999. Díky této skutečnosti a nákladnému financování projektů, zabývajících se vývojem vozidel s palivovými články, dosahuje výborných výsledků a řadí se tak mezi přední společnosti v oboru. V roce 2007 byl představen model s označením Honda FCX Clarity, jakožto zástupce nejmodernějšího technologie z řad vodíkových vozidel společnosti. Jednalo se o podobu vozu postaveného na technologii palivových článků s polymerní iontoměničovou membránou typu PEMFC. Vůz byl vybaven nově vyvinutou platformou V-flow, která umožňovala svislé, tedy vertikální proudění vodíku a kyslíku. Pro odtok odpadní vody se využívala gravitace. Tato konstrukce umožnila zvýšit výkon modelu a zároveň snížit zástavbový prostor palivového článku a také celkovou hmotnost vozu. Snaha o získání zákazníků se také projevila na dynamickém moderním designu vozu a zlepšení jízdnicích, výkonnostních vlastností. Zhruba od léta 2008 poskytovala společnost na americkém trhu, konkrétně ve státě Kalifornie, možnost tzv. operativního leasingu vozu ve tříletém programu, tedy pouze pronájem vozu. Cena byla 600 USD měsíčně a zahrnovala veškerý servis spojený s provozem, havarijní pojištění, dále také vodíkový tankovací bonus do výše 15 000 USD, platný po celou dobu pronájmu. Model byl vybaven elektromotorem o výkonu 100 kW a točivým momentem 256 N.m. Objem nádrže byl 171 l s tlakem 35 Mpa. Maximální teoretický dojezd dosahoval 386 km. V roce 2014 byl představen koncept další generace Clarity FCX, který byl po sléze v roce 2015 uveden na trh jako model s finálním označením Clarity Fuel Cell. V současnosti byla společnost nucena, v rámci atraktivního programu, snížit pronájemní cenu vozu na 369 USD s jednorázovým podpisovým poplatkem 2868 USD. Poplatek představuje jistý druh nevratné zálohy za vstup do programu. Vůz je navržen pro 5 osob a je poháněn střídavým synchronním motorem o výkonu 130 kW a točivým momentem 300 N.m. Palivem pro články s polymerní membránou (PEMFC) je vodík H<sub>2</sub>, který je uskladněný ve dvou vysokotlakých láhvích o celkovém objemu 141 l a tlaku 70 Mpa. Maximální konstrukční rychlost vozu je 160 km/h.



Obr. 6 Honda Clarity Fuel Cell [20]

### 6.1.1 Technické parametry

Tab. 3 Přehled technických parametrů Honda Clarity Fuel Cell

<b>Rozměry [Délka-Šířka-Výška ] /Hmotnost</b>	4,915-1,875-1,480 m	1890 kg
<b>Pohon / Baterie</b>	AC synchronní elektromotor	Li-ion
<b>Max Výkon / Max Točivý moment</b>	130 kW	300 N.m
<b>Max rychlost / zrychlení [0-100 km/h]</b>	160 km/h	9 s
<b>Teoretická spotřeba vodíku [H] / Emise CO<sub>2</sub></b>	1 kg/100km	0 g/km
<b>Objem nádrže / Tlak nádrže</b>	141 l	70 Mpa
<b>Teoretický dojezd / Čas plnění nádrže</b>	580 km	300 s
<b>Výstupní výkon pal článku / Napětí baterie</b>	103 kW	288 V

## 6.2 Hyundai Tucson FCEV

Hyundai ix35 FCEV často označován taktéž jako Tucson FCEV je vlajkové vozidlo společnosti Hyundai v oblasti vývoje vozidel s palivovými články, za kterými stojí dlouhodobí výzkum a náročné financování projektů na snižování dopadů dopravního znečištění. První generace vozidel s palivovými články začala automobilka vyrábět již v roce 2001. Prvním vozidlem se tak stal koncept s označením Hyundai Santa Fe FCEV s maximálním dojezdem 160 km a maximální rychlostí 126 km/h

Druhá generace vozidel nesla název Hyundai Tucson FCEV a představovala modernější typ vozidla s články vylepšenými o grafitové bipolární desky, což v zásadě umožnilo zvýšit celkový dojezd na 300km a maximální rychlost na 150 km/h. Třetí generace z roku 2009 byla založena na konceptu Hyundai ix35 s metalovými bipolárními články. Současná generace vyráběná od roku 2012, je Hyundai ix35 FCEV s palivovými články s polymerní iontoměničovou membránou (PEMFC). U nového modelu čtvrté generace byl použit zatím nejsilnější asynchronní elektromotor s maximálním výkonem 100 kW a točivým momentem 300 N.m. Teoretický dojezd automobilu se pak díky zvětšení prostoru pro skladování paliva na 144 l a použití vyššího tlaku uskladnění až na 70 Mpa zvětšil na 580 km. Celkový koncept vozidla je navržen s ohledem na maximalizaci prostoru pro pasažéry. Maximální rychlost dosahuje až 160km/h se zrychlením z nuly na sto kilometrů v hodině za 12.50 s. Vozidlo je k dispozici v rámci testovacího období pouze k pronájmu na dobu 36 měsíců. Měsíční poplatek operativního leasingu pak činí 499 USD se všemi výhodami konkurenčního modelu Honda Clarity fuel cell. Společnost Hyundai však nabízí tankování vodíků v neomezené formě, zahrnuté v ceně pronájmu. Poplatek za první splátku a sjednání zapůjčení vozidla činí 2999 USD.



**Obr. 7 Hyundai Tucson FCV [9]**

## 6.2.1 Technické parametry

Tab. 4 Přehled technických parametrů Hyundai Tuscon FCEV

<b>Rozměry [Délka-Šířka-Výška ] / Hmotnost</b>	4,410-1,820-1,650 m	1,930 kg
<b>Pohon / baterie</b>	AC asynchronní elektromotor	Li-pol
<b>Max Výkon / Max Točivý moment</b>	100 kW	300 N.m
<b>Max rychlost / zrychlení [0-100 km/h ]</b>	160 km/h	12,5 s
<b>Teoretická spotřeba vodíku [H] / Emise CO<sub>2</sub></b>	1,32 kg/100km	0 g /100km
<b>Objem nádrže / Tlak nádrže</b>	144 l	70 MPa
<b>Teoretický dojezd / čas plnění nádrže</b>	426 km	600 s
<b>Výstupní výkon pal článku / Napětí baterie</b>	100 kW	450 V

## 6.3 Toyota Mirai FCV

Společnost Toyota se vývojem palivových článků zabývá již od počátku devadesátých let minulého století. V roce 2002 byl představen první koncepční typ vozidla Toyota FCHV postavený na podvozku SUV Highlander s výkonem 90 kW a dojezdem 300 km. Celkově bylo vyrobeno šest vozů. Dva vozy byly poskytnuty k testování Kalifornské univerzitě a čtyři vozy byly dodány složkám japonské vlády, taktéž v rámci testovacího programu. V průběhu vývoje Toyoty FCHV bylo dosažené postupného zvýšení dojezdu a to díky objemnější nádrži, tlaku a také v důsledku zvýšení výkonu palivových článků, úpravou systému rekuperativního brzdění. Jako pohonná jednotka byl navržen elektromotor o výkonu 90 kW. Maximální rychlost vozu byla 155 km/h. V roce 2012 byl představen koncept s označením FCV-R, který je předchůdce současného modelu Toyota Mirai FCV. Toyota Mirai FCV, je první ze sériově vyráběných vozů s palivovými články, který byl uveden v roce 2014 volně na japonský trh a v létě následujícího roku i na trh americký a evropský. Vozidlo obsahuje dvě palivové nádrže s celkovou kapacitou 122,4 l a tlakem s maximální hodnotou 70 MPa, umožňující dojezd až 550 km. Celkový plnicí čas nádrží se pohybuje v rozmezí pěti minut. Jako pohonná jednotka byl použit synchronní střídavý elektromotor s maximálním výkonem 113 kW a točivým momentem 335 N.m. Sekundárním zdrojem energie je nikl-metal hydridová (Ni-MH) trakční baterie, sloužící zároveň k uchování rekuperované a nevyužité energie a také ke krátkodobému navýšení výkonu. Aktuální cena nové Toyota Mirai FCV je 57,500 USD. Automobilka dále také poskytuje pronájem vozů v rámci stejných kritérií s konkurencí. Tříletý operativní leasing vyjde



na měsíční paušál 349 USD s podpisovým poplatkem v hodnotě 2499 USD. Palivový limit zde není, a tedy veškeré čerpání pohonných hmot je zahrnuto v měsíčním paušálu.



Obr. 8 Toyota Mirai FCV [21]

### 6.3.1 Technické parametry

Tab. 5 Přehled technických parametrů Toyota Mirai FCV

<b>Rozměry [Délka-Šířka-Výška ]/Hmotnost</b>	4,889-1,816-1,534 m	1849 kg
<b>Pohon / baterie</b>	AC synchronní elektromotor	Ni-NH
<b>Max Výkon / Max Točivý moment</b>	113 kW	335 N.m
<b>Max rychlost / zrychlení [0-100 km/h ]</b>	178 km/h	9,2 s
<b>Teoretická spotřeba vodíku [H] / Emise CO<sub>2</sub></b>	1 kg/100km	0 g /100 km
<b>Objem nádrže / Tlak nádrže</b>	122 l	70 MPa
<b>Teoretický dojezd / čas plnění nádrže</b>	502 km	300 s
<b>Výstupní výkon pal článku / Napětí baterie</b>	114 kW	650 V

## 6.4 Mercedes-Benz B F-Cell

Mercedes-Benz B F-Cell je vozidlo spadající pod německého výrobce Daimler AG. Začátek vývoje vozidel s palivovými články společnosti Daimler AG sahá do začátku devadesátých let, kdy společnost začala pracovat na projektu NECAR (New Electric Car). Již v roce 1994 byl představen model NECAR 1 a v následujících šesti letech vzniklo hned pět verzí prototypů NECAR, s posloupným číselným označením a doplňkový model NECAR 4a. První model byl vybaven elektromotorem s výstupním výkonem 30 kW s maximálním dojezdem 130 km a maximální konstrukční rychlostí 90 km/h. Poslední koncept model NECAR 5 z roku 2000 byl díky systémovému měniči přizpůsoben pro spalování vodíku i metanolu. Veškerá technologie vozu byla komponována do sendvičové podlahy vozidla Mercedes-Benz třídy A, tím umožnila zvýšit komfort cestujících a také zatraktivnit pohled na vozidla s palivovými články. Použit byl reluktanční motor o výkon 55 kW s jízdním dosahem až 400 km a maximální rychlostí 145 km/h. Nádrž obsahovala 45 litrů paliva. V roce 2002 byl představen první model Mercedes-Benz F-Cell založený na konceptu Mercedes-Benz A-Class, s maximálním dojezdem 160 km a maximální rychlostí 132 km/h. V průběhu vývoje sedmi let byly také představeny vozy Mercedes-Benz F600 Hygenius z roku 2005 a Mercedes-Benz F-CELL Roadster z roku 2009. Téhož roku byl také představen Mercedes-Benz B F-CELL, který byl v průběhu nastávajících let testován v zákaznických programech po celém světě. Nejnovější série B F-CELL je vybavená elektromotorem s výkonem 100 kW a točivým momentem 290 N.m. Maximální konstrukční rychlost vozu je 170 km/h. Teoretický dojezd je 385 km a vozidlo má zakomponovaní palivové nádrže na 106 litrů stlačeného vodíku na hodnotu až 70 MPa.



Obr. 9 Mercedes-Benz B F-Cell [22]

#### 6.4.1 Technické parametry

Tab. 6 Přehled technických parametrů Mercedes-Benz B F-Cell

Rozměry [Délka-Šířka-Výška] / Hmotnost	4,273-1,777-1,618 m	1809 kg
Pohon / baterie	AC synchronní elektromotor	Li-Ion
Max Výkon / Max Točivý moment	100 kW	290 N.m
Max rychlost / zrychlení [0-100 km/h]	170 km/h	11,4 s
Teoretická spotřeba vodíku [H] / Emise CO <sub>2</sub>	1,28 kg/km	0 g /100 km
Objem nádrže / Tlak nádrže	106 l	70 Mpa
Teoretický dojezd / čas plnění nádrže	385 km	400 s
Výstupní výkon pal článku / Napětí baterie	80 kW	212 V

#### 6.5 Volkswagen Golf Variant HyMotion

Automobilová společnost Volkswagen se vývojem vozidel s palivovými články zabývá od roku 1996. Prvním koncepční model byl postaven na základech vozidla Volkswagen Bora s dodatkovým označením HyMotion, značící koncept palivových článků. Bora HyMotion z roku 2000 dosahovala výkonu elektromotoru 75 kW, jako zdroj energie byly využity palivové články s polymerní elektrolytickou membránou (PEM). Maximální zrychlení z nuly na sto kilometrů za hodinu bylo 12.5 s a maximální rychlost 140 km/h. Následný model z roku 2001 nesl označení Bora Hypower. Model

byl vybaven lahvemi na vodík s tlakem 32 MPa a také výkonovým kondenzátorem, který dokázal v krátkodobém režimu zvýšit energii systému až o 60 kW. V roce 2004 byl představen model Touran HyMotion s výstupním výkonem elektromotoru 90 kW a se zrychlením z nuly na sto kilometrů za hodinu v čase 14 s. Tlak nádrže byl 35 MPa. Verze Tiguan z roku 2008 přinesla první stabilní použitelnost nádrž pro skladování vodíku s tlakem 70 MPa, celkovým dojezdem 230km a maximální rychlostí 150 km/h. Vozidlo bylo poháněno elektromotorem s výstupním výkonem 100 kW. Poslední verze představené v roce 2014 na autosalonu v Los Angeles jsou Passat HyMotion a Golf Variant HyMotion. U těchto modelů byly zveřejněny jen částečné informace.



Obr. 10 Volkswagen Golf Variant HyMotion [13]

### 6.5.1 Technické parametry

Tab. 7 Přehled technických parametrů Volkswagen Variant HyMotion

<b>Rozměry [Délka-Šířka-Výška] / Hmotnost</b>	4,567-1,799-1,481 m	2005 kg
<b>Pohon / baterie</b>	AC synchronní elektromotor	Li-Ion
<b>Max Výkon / Max Točivý moment</b>	-	-
<b>Max rychlost / zrychlení [0-100 km/h ]</b>	-	9,7 s
<b>Teoretická spotřeba vodíku [H] / Emise CO<sub>2</sub></b>	1kg/100 km	0 g /100 km
<b>Objem nádrže / Tlak nádrže</b>	-	70 Mpa
<b>Teoretický dojezd / čas plnění nádrže</b>	498 km	180 s
<b>Výstupní výkon pal článku / Napětí baterie</b>	100 kW	323 V

## 6.6 Generals Motor HydroGen4

Společnost Generals motor se myšlenkou a vývojem vozidle s palivovými články zabývá nejdéle z konkurenčního trhu. Koncept prvního vozu byl představen již v roce 1966 s označením GM Electrovan. Jednalo se o koncept postavený na základech modelu GMC Handi-Van s elektromotorem o výkonu 32 kW a točivým momentem 320 N.m.. Maximální rychlost byla 95 km/h se zrychlením z nuly na sto kilometrů za hodinu za 30 s. Dojezd vozidla byl 250 km.

V průběhu vývoje společnost představila mnoho typů vozidel s palivovými články. V roce 2001 byl přestaven model s označením GM HydroGen3, v dalších letech byly představeny také koncepty s označením H2H Hummer SUT, Chevrolet Equinox Fuel Cell, GM Hy-wire, GM Sequel a doplňují řada představená v roce 2007 GM HydroGen4.

GM HydroGen3 byl založen na Opelu Zafira MPV s pohonem třífázového asynchronního motoru o výkonu 60 kW a točivým momentem 215 N.m. Palivové nádrže se stlačeným vodíkem na hodnotu 70 MPa a s objemem 68 l, poskytovaly dojezd 400 km. Maximální rychlost vozidla dosahovala 160 km/h se zrychlením z nuly na sto kilometrů za hodinu za 16 s.

GM Hydrogen4 je další generací vodíkového pohonu společnosti Generals motor založený na vozu Chevrolet Equinox, s motorem o výkonu 94 kW a točivým momentem 320 N.m. Maximální rychlost vozidla byla 160km/h se zrychlením z nuly na sto kilometrů za hodinu za 12 s. Celkově bylo vyrobeno 160 ks, z toho 10 bylo využito v Berlíně v rámci projektu čistá energie.



Obr. 11 General Motors HydroGen4 [23]

### 6.6.1 Technické parametry

Tab. 8 Přehled technických parametrů General Motors HydroGen4

<b>Rozměry [Délka-Šířka-Výška ] / Hmotnost</b>	4,796-1,814-1,760 m	2010 kg
<b>Pohon / baterie</b>	AC synchronní elektromotor	NiMH
<b>Max Výkon / Max Točivý moment</b>	94 kW	320 N.m
<b>Max rychlost / zrychlení [0-100 km/h ]</b>	160 km/h	12 s
<b>Teoretická spotřeba vodíku [H] / Emise CO<sub>2</sub></b>	1.31 kg/100km	0 g /100km
<b>Objem nádrže / Tlak nádrže</b>	108 l	70 MPa
<b>Teoretický dojezd / čas plnění nádrže</b>	320 km	300 s
<b>Výstupní výkon pal článku / Napětí baterie</b>	93 kW	380 V

## 6.7 Ford Focus FCV

Projekt automobilky Ford Focus FCV byl představen v roce 2006. V rámci testovacího programu bylo vyrobeno 30 modelů se zkušební zátěží v Německu, Spojených státech amerických a Kanadě. V roce 2009 měly tyto modely v součtu přes milion kilometrů, bez významných technických poruch. Automobil byl poháněn třífázovým indukčním elektromotorem o výkonu 65 kW a točivým momentem 190 N.m. Maximální rychlost dosahovala 128 km/h s teoretickým dojezdem 321 km. Tlak palivových nádrží byl 35 MPa.



Obr. 12 Ford Focus FCV [12]

### 6.7.1 Technické parametry

Tab. 9 Porovnání technických parametrů Ford Focus FCV

<b>Rozměry [Délka-Šířka-Výška] / Hmotnost</b>	4,338-1,758 -1,500 m	1727 kg
<b>Pohon / baterie</b>	AC indukční elektromotor	NiNH
<b>Max Výkon / Max Točivý moment</b>	65 kW	230 N.m
<b>Max rychlost / zrychlení [0-100 km/h]</b>	128 km/h	10,3 s
<b>Teoretická spotřeba vodíku [H] / Emise CO<sub>2</sub></b>	1.25kg/100km	0 g/100km
<b>Objem nádrže / Tlak nádrže</b>	178 l	35 MPa
<b>Teoretický dojezd / čas plnění nádrže</b>	320 km	300 s
<b>Výstupní výkon pal článku / Napětí baterie</b>	85kW	380 V

## 7 POROVNÁVÁNÍ TECHNIKÝCH PARAMETRŮ

V první části této kapitoly jsou představené technické parametry vybraných vodíkových pohonů zpracovány graficky, je vyhotoven tabulkový přehled těchto hodnot k porovnání jednotlivých konceptů a dané výsledky jsou komentovány. V následující části jsou představena doplňující technicko-ekonomická data vozidel v produkci a jejich vzájemné porovnání. V závěrečné části kapitoly jsou také uvedeny technické parametry konkurenčních verzí vozidel, první model představuje alternativní pohon využívající elektromotor k pohonu, avšak s klasickou kombinací vysokokapacitní lithium iontové (Li-Ion) baterie od společnosti Volkswagen a druhé vozidlo představuje konvenční druh pohonu se spalovacím zážehovým motorem z koncernové řady Škoda. Dále jsou tabulkově zpracována technická data. V poslední části kapitoly jsou vyberné typy opět graficky zpracovány a porovnány.

### 7.1 Vodíkové pohony

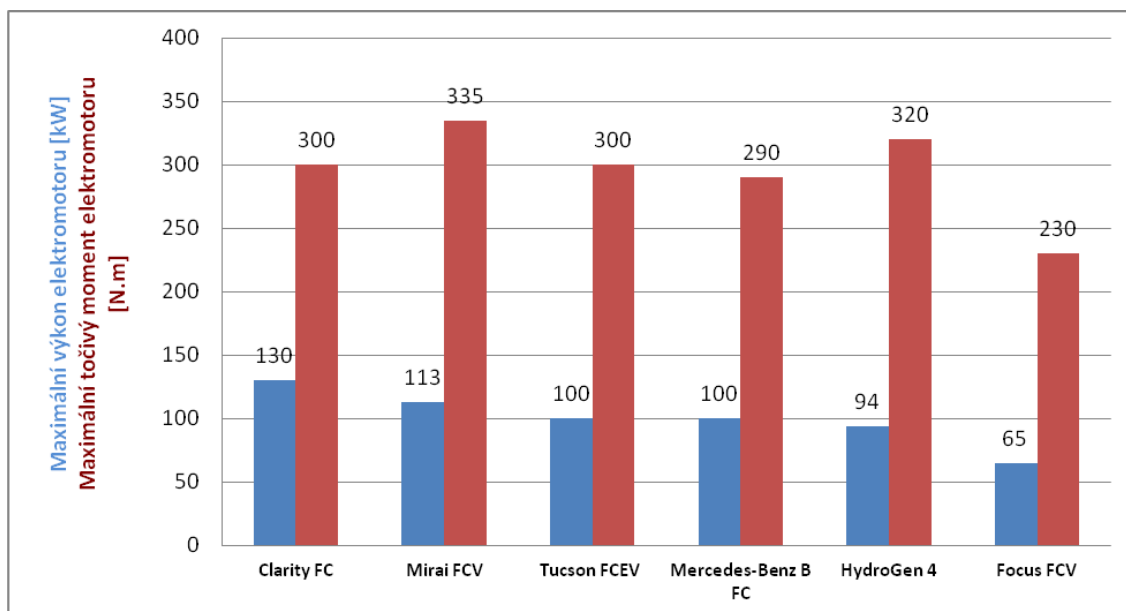
#### 7.1.1 Porovnání jednotlivých vodíkových pohonů

Tab. 10 Přehled technických parametrů vozidel s palivovými články

Výrobce	Označení vozidla	Točivý moment [N.m]	Výkon [kW]	Max rychlost [km/h]	Zrychlení (0-100 km/h) [s]
<b>Honda</b>	Clarity FC	300	130	160	9
<b>Hyundai</b>	Tucson FCEV	300	100	160	12,5
<b>Toyota</b>	Mirai FCV	335	113	178	9,2
<b>Daimler AG</b>	Mercedes-Benz B F-Cell	290	100	170	11,4
<b>Generals – Motors</b>	HydroGen 4	320	92	160	12
<b>Ford</b>	Focus FCV	230	65	128	10,3

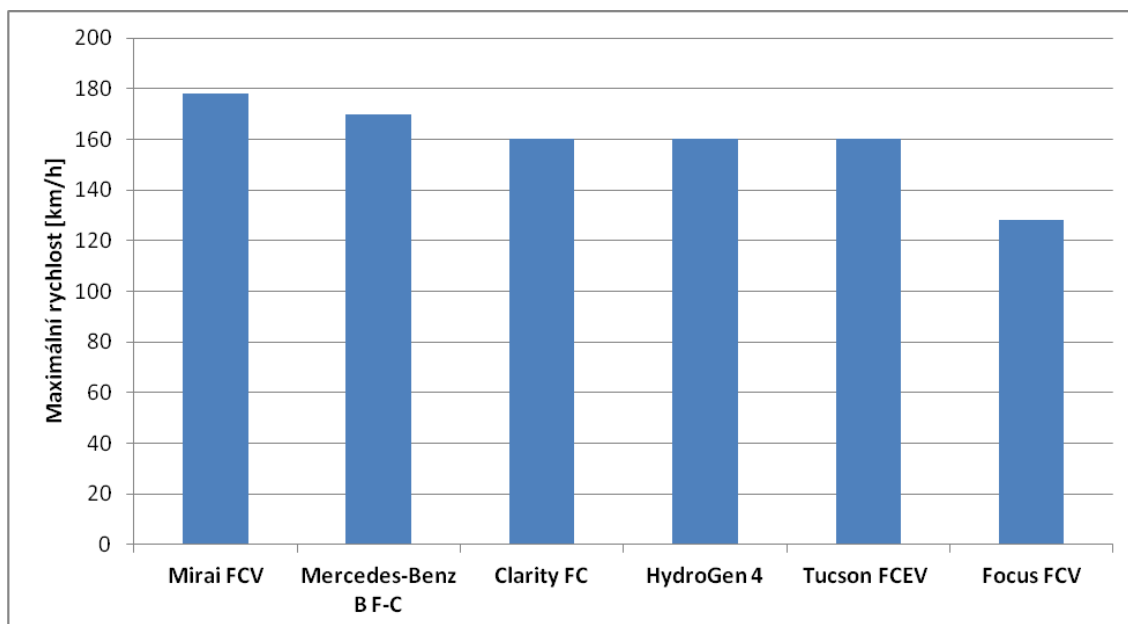
Tabulka č. 10 znázorňuje přehled technických parametrů elektromotoru a dále také maximální konstrukční rychlosti vozů v porovnání se zrychlením z nuly na sto kilometrů za hodinu. Na prvních třech řádcích tabulky se nachází vozy, které jsou v současné době dostupné na komerčním trhu viz. kapitola 7.1.2. Porovnání vozidel s palivovými články na dostupném komerčním trhu. Vozy uvedené mimo toto pole jsou přehledem parametrů historické koncepční výroby, probrané v kapitolách výše.





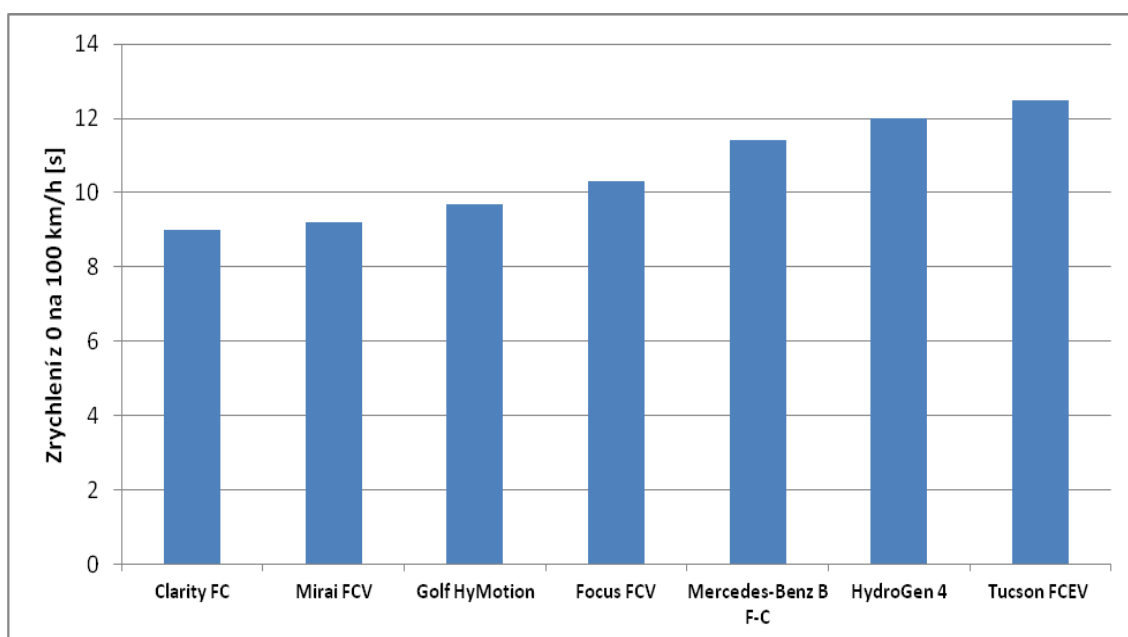
**Obr. 13** Porovnání výkonu a točivého momentu vozidel s palivovými články

Technické data znázorněných na obr. 13 jsou seřazeny výkonově sestupně. Z technických parametrů můžeme vyčíst že, nejvyššího maximálního výkonu z uvedených, dosahuje vozidlo Honda Clarity Fuel cell s výkonem 130 kW. Výkon byl u vozu navýšen z původních 100 kW, jako přímá konkurence Toyoty Mirai FCV se 113 kW. Nejvyšší točivý moment má naopak Toyota Mirai FCV s hodnotou 335 N.m, v porovnání s modelem Clarity Fuell cell a verzí Tuscon FCEV s totožným točivým momentem 300 N.m. Výkon vozu Hyundai Tuscon FCEV dosahuje hodnoty 100 kW, což odpovídá aritmetickému průměru hodnot z uvedených výkonu. Nejnižší technické výkonové parametry vykazuje koncept automobilu Ford Focus FCV z roku 2006.



**Obr. 14** Porovnání maximálních konstrukčních rychlostí vozidel s palivovými články

V porovnání maximálních konstrukčních rychlostí vozidel na obr. 14, vykazuje nejvyšší hodnoty Toyota Mirai a to o 18 km/h ve srovnání s modelem Clarity Fuel Cell. Na druhém místě grafu je koncepční vozidlo společnost Daimler AG s označením Mercedes-Benz B Fuel cell a maximální rychlostí 170 km/h. Nejčtenější hodnotou, tedy modusem zpracovávaných dat, je rychlost 160 km/h zastoupená modelem Clarity Fuel Cell, GM HydroGen 4 a konkurenčním modelem Tucson FCEV.

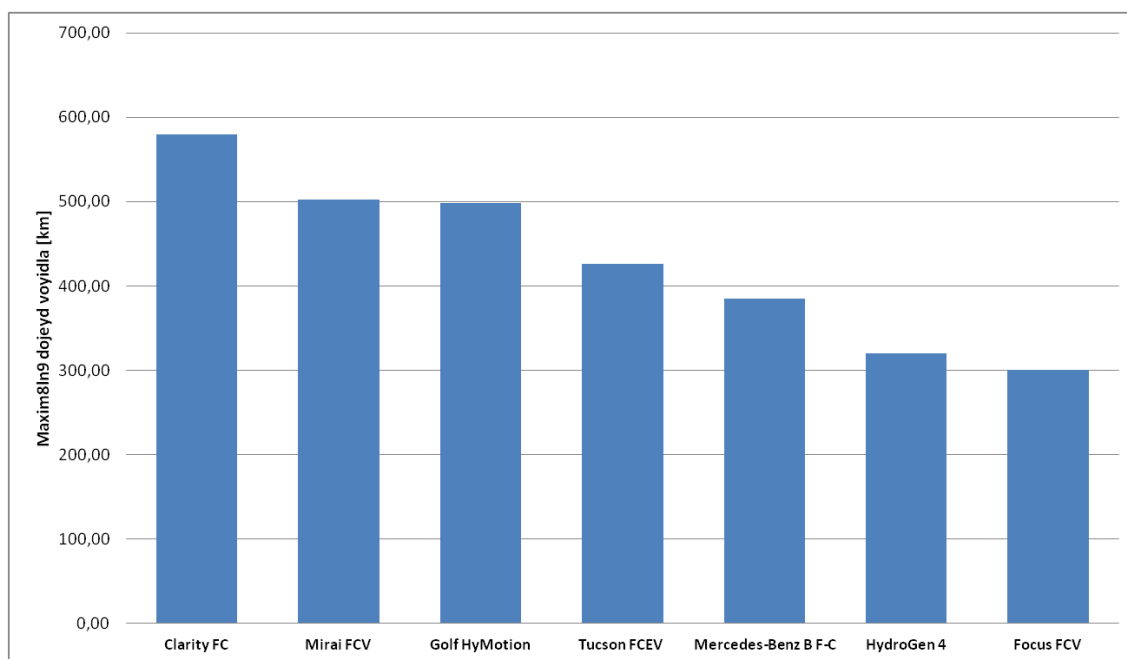


**Obr. 15** Porovnání zrychlení z 0 na 100 km/h vozidel s palivovými články

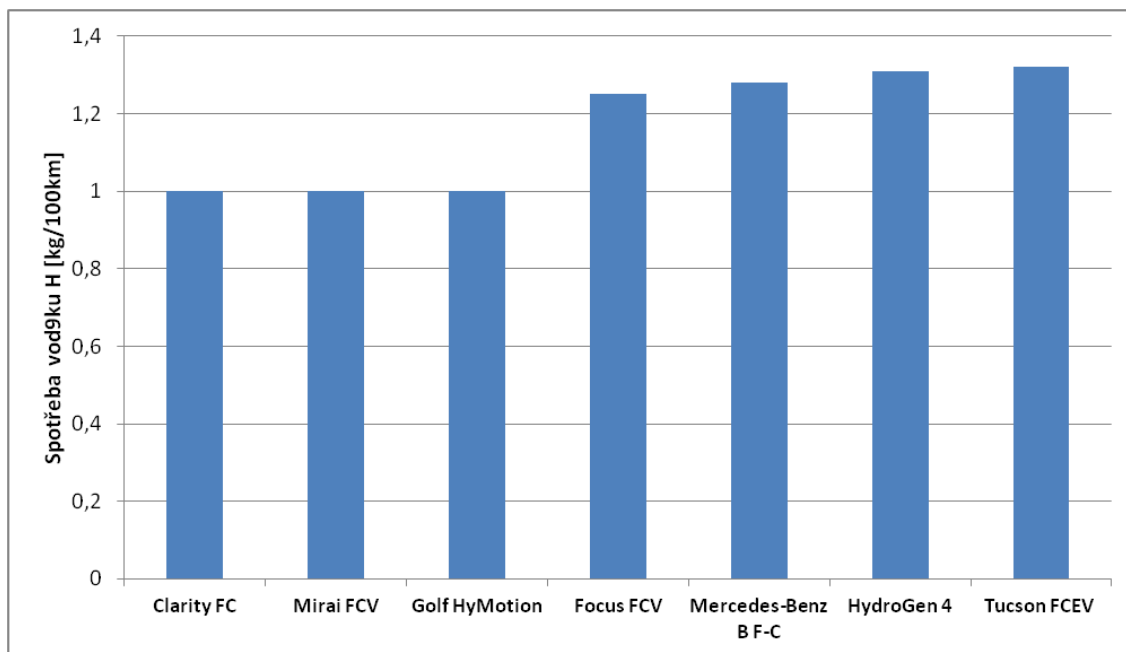
**Tab. 11 Přehled technických parametrů vozidel s palivovými články**

Výrobce	Označení vozidla	Teoretický dojezd [km]	Tlak nádrže [MPa]	Spotřeba vodíku H [kg/ 100km]	Objem nádrže [l]
<b>Honda</b>	Clarity FC	580	70	1,00	141
<b>Hyundai</b>	Tucson FCEV	426	70	1,32	144
<b>Toyota</b>	Mirai FCV	502	70	1,00	122
<b>Daimler AG</b>	Mercedes-Benz B F-Cell	385	70	1,28	106
<b>Generals – Motors</b>	HydroGen 4	320	70	1,31	108
<b>Ford</b>	Focus FCV	300	35	1,25	178
<b>Volkswagen</b>	Golf HyMotion	498	70	1	-

Tabulka č. 11 uvádí přehled technických parametrů vozidel s palivovými články, zaměřených na využití a skladování paliva. Tabulka byla doplněna o vozidlo Volkswagen Golf Hymotion představený v roce 2014, u jehož koncepcí byly zveřejněny jen částečné parametry. Dále jsou data graficky zpracována.

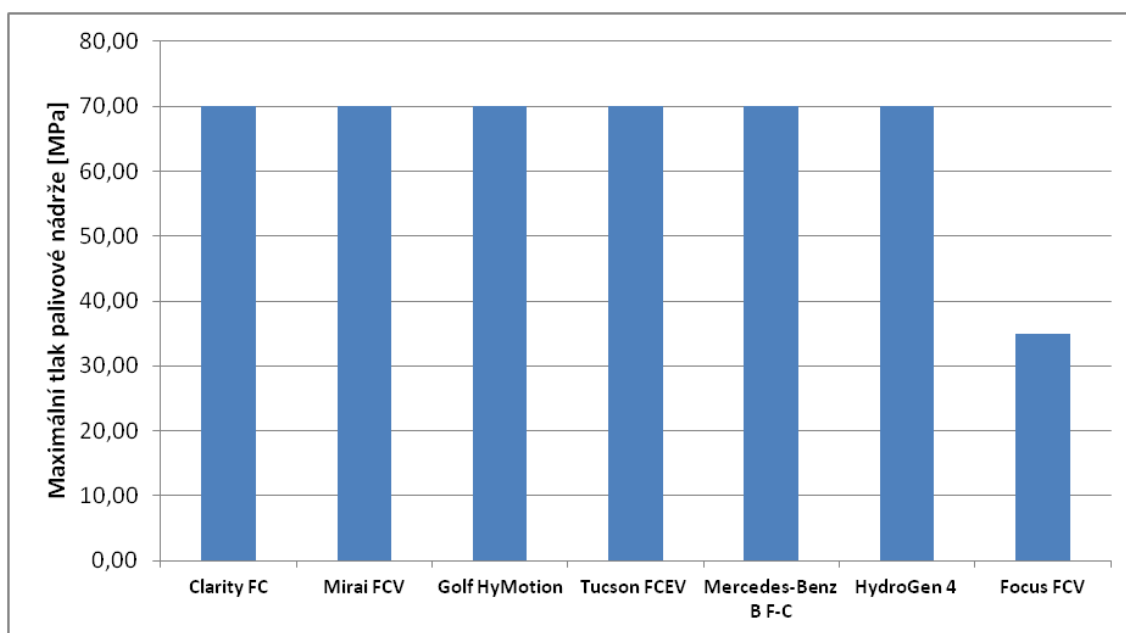


**Obr. 16 Porovnání maximálních dojezdů vozidel s palivovými články**



**Obr. 17 Porovnání spotřeby vodíku vozidel s palivovými články**

Obr. č. 17 znázorňuje vzestupně seřazené hodnoty teoretické hmotnostní spotřeby paliva na vzdálenost 100 km. Uvedené hodnoty jsou dány vztahem přímé úměry hmotnosti paliva a teoretického dojezdu vozu. Progresivita snižování celkové spotřeby paliva je dána technologií a vývojem. Tento fakt lze pozorovat na výsledném zobrazení grafu. Všechny uvedené hodnoty spotřeby vodíku, jsou dobrým ukazatelem efektivního využití paliva v rámci elektrochemické reakce v palivovém článku a vysokou účinností systému.



**Obr. 18 Porovnání maximálních tlaků palivových nádrží vozidel s palivovými články**

K problematice efektivního využití palivových článků a zařazení těchto vozů do běžného provozu patří i způsob a efektivita skladování paliva. Tlak a teplota skladování, jsou základními faktory výsledného objemu plynu, mají tedy zásadní vliv na celkový dojezd vozidla. V průběhu vývoje vozidel s palivovými články se palivové nádrže dostaly až na hodnotu tlaku 70 MPa. Nádrž odolávající takovému tlaku musí být vyrobena ze speciálních materiálů. Jeden z možných způsobů uchování paliva pod vysokým tlakem, je využití víceplášťových kryogenních nádrží s aktivním chlazením. Nejnižší hodnotu tlaku má koncept vozidla Ford Focus FCV a to 35 MPa, jež byla běžná hodnota pro palivové nádrže starších konceptů vodíkových vozidel.

### 7.1.2 Porovnání vozidel s palivovými články na dostupném komerčním trhu

V současné době jsou vozidla využívající vodíkový pohon, na dostupném komerčním trhu, zastoupena pouze třemi výrobci. Jedná se o Hondu Clarity Fuel Cell, Hyundai Tucson FCEV a Toyotu Mirai FCV. Dostupnost těchto vozů je poskytována pouze v rámci zpoplatněného testování ve vybraných státech, zejména pak ve státě Kalifornie. Společnost Toyota se svým modelem Mirai FCV nabízí, jako historicky první a v současnosti jediná, prodej na volně dostupný komerční trh. Poskytuje tedy variantu operativního leasingu v testovacím programu, nebo jí lze přímo zakoupit za cenu 57 500 amerických dolarů.

**Tab. 12 Přehled cen a poplatků vozidel s palivovými články dostupné na komerčním trhu**

Výrobce	Označení vozidla	délka trvání [měsíce]	Nevratná záloha [USD]	Cena [USD]
<b>Honda</b>	Honda FCX Clarity	36	2868	369
<b>Hyundai</b>	Hyundai Tucson FCEV	36	2999	499
<b>Toyota</b>	Toyota Mirai FCV	36	2499	349

Tab. 12 znázorňuje přehled cen za poskytnutí operativního leasingu na dobu 36 měsíců. Nevratná záloha, neboli podpisový poplatek, je účtován jako jednorázový poplatek za zápis do programu. Nejvyšší cena je nastavená společností Hyundai na měsíční splátku 499 amerických dolarů. V současnosti byly automobilové společnosti nuceny snížit ceny z původních hodnot přesahujících 550 amerických dolarů, na hodnoty uvedené v tabulce.

**Tab. 13 Přehled režimů spotřeby paliva vozidel s palivovými články dle EPA [24]**

<b>Model</b>	<b>Město [l/100km]</b>	<b>Dálnice [l/100km]</b>	<b>Kombinovaný režim [l/100km]</b>
<b>Honda Clarity Fuel Cell</b>	3,45	3.56	3.51
<b>Toyota Mirai FCV</b>	3,56	3.56	3.56
<b>Hyundai Tucson FCEV</b>	4,9	4,7	4,8

Tabulka č. 13 znázorňuje přehled spotřeby paliva v různých režimech provozu. Hodnoty jsou výsledkem měření organizace EPA (U.S. Environmental Protection Agency), jež započítává do výsledků zátěž při výrobě paliva a externí vlivy. Ekvivalentní hodnotou pro výrobu jednoho kg vodíku, byl stanoven objem přibližně 3,78 l běžného fosilního paliva, což odpovídá hodnotě 1 galonu.

## **7.2 Technické parametry rozdílných pohonů**

V rámci doplnění informací a přehledu o rozdílných konkurenčních pohonech a jejich technických parametrech, je kapitola rozšířena o srovnání modelu Toyota Mirai FCV s vozidlem zastupující klasický druh elektromobilu s vysokokapacitními lithium iontovými (Li-ion) bateriemi Volkswagen e-Golf a zástupcem konvenčního spalovacího motoru Škoda Octavia III 1,4 TSI. V následující části jsou uvedeny technické specifikace uvedených modelů.

### **7.2.1 Technické parametry VW e-Golf**

**Tab. 14 Přehled technických parametrů Volkswagen e-Golf**

<b>Rozměry [Délka-Šířka-Výška ] / Hmotnost</b>	4,270-1,799-1,450 m	1849 kg
<b>Pohon / baterie</b>	AC synchronní elektromotor	Li-ion
<b>Výkon/Toč moment</b>	100 kW	290 N.m
<b>Max rychlost/zrychlení [0-100 km/h ]</b>	140 km/h	10,6 s
<b>Spotřeba CO<sub>2</sub> /Emise</b>	12,7 (kWh/100 km)	0 g/km
<b>Teoretický dojezd / čas nabíjení</b>	300 km	6 h standartní , 1h rychlonabíjení
<b>Napětí baterie/Výkon baterie</b>	323 V	35,8 kWh

## 7.2.2 Technické parametry Škoda Octavia III 1,4 TSI

Tab. 15 Přehled technických parametrů Škoda Octavia III 1,4 TSI

<b>Rozměry [Délka-Šířka-Výška ] / Hmotnost</b>	4,670-1,814-1,461 m	1805kg
<b>Pohon - Specifikace / Zdvihový objem</b>	Zážehový motor-TSI	1395 ccm
<b>Výkon/Toč moment</b>	110 kW	250 N.m
<b>Max rychlost/zrychlení [0-97 km/h ]</b>	219 km/h	8,1 s
<b>Emise CO<sub>2</sub> / Kombinovaná spotřeba</b>	121 g/km	5,2 l
<b>Teoretický dojezd / Objem palivové nádrže</b>	961 km	50 l

## 7.2.3 Srovnání technických parametrů rozdílných pohonů

Tabulky uvedené v kapitole jsou přehledem srovnání technických parametrů jednotlivých zástupců pohonů. Vozidla byla vybrána převážně s ohledem na výkonnostní třídu motoru.

Tab. 16 Přehled technických parametrů vozidel s rozdílnými pohony

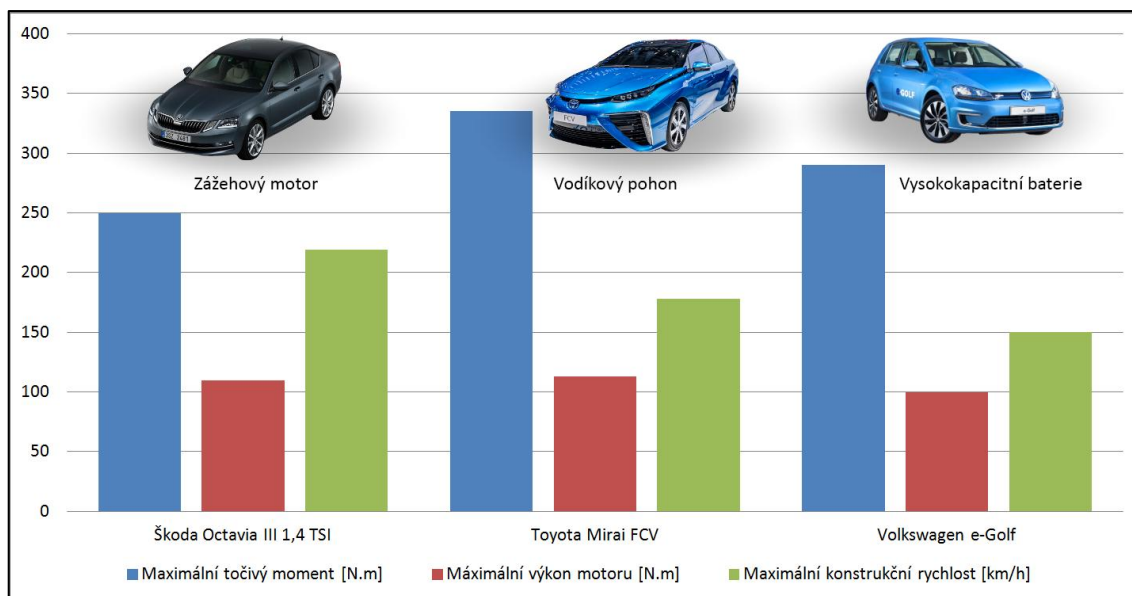
Označení vozidla	Točivý moment [N.m]	Výkon [kW]	Max rychlost [km/h ]
Škoda Octavia III 1,4 TSI	250	110	219
Toyota Mirai FCV	335	113	178
Volkswagen e-Golf	290	100	140

Tab. 17 Přehled technických parametrů vozidel s rozdílnými pohony

Označení vozidla	Maximální dojezd [km]	Emise CO <sub>2</sub> [g /km ]	Cena [CZK ]
Škoda Octavia III 1,4 TSI	961	121	640 900
Toyota Mirai FCV	550	0	1 436 638
Volkswagen e-Golf	300	0	999 400

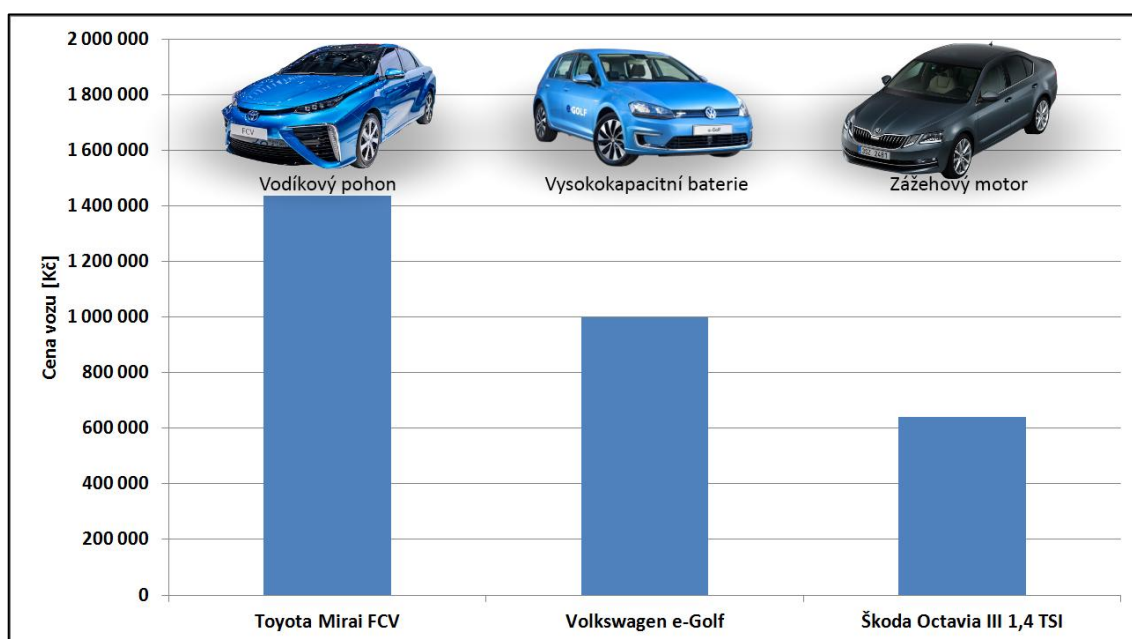
Pozn. (Cena podléhá přepočtu dolaru na české koruny s kurzem české národní banky ke dni 19.04 2016  
1 USD = 25,11 CZK)

Ceny vozidel v tab. 17, jsou uvedené bez příslušné státní daně. Tato hodnota je závislá na daném státě prodeje a výsledné ceny se mohou lišit. Prodejní daň ve spojených státech amerických se pohybuje většinou pod hranicí 15% z ceny produktu, v závislosti na lokalitě. Ke srovnání s Českou republikou, zde je prodejní daň, účetně nazývaná daní z přidané hodnoty 21%.



**Obr. 19 Porovnání točivého moment, výkonu a maximální rychlosti vozidel s rozdílnými pohony**

Z obr. 19 lze pozorovat, že alternativní pohony dosahují stejných výkonnostních parametrů, jako klasické konvenční automobily se spalovacími motory. Toto je dané především výhodou a vhodností použití elektromotorů, které se svou výkonovou charakteristikou velice hodí, pro využití v automobilovém průmyslu. Nejvyšší rychlosti 219 km/h, dosahuje model s konvenčním spalovacím motorem Škoda Octavia III.

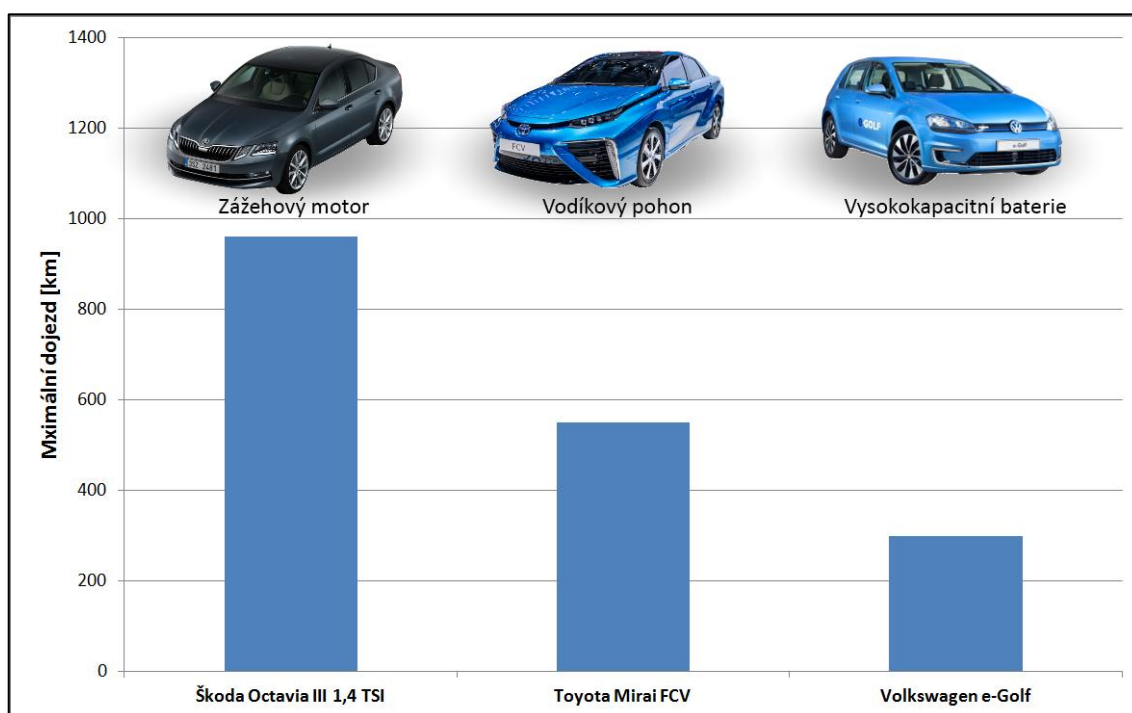


**Obr. 20 Porovnání cen vozů s rozdílnými pohony**

Cena vozidla je závislá především na technologii a materiálech, které musely být využity při výrobě. Tabulkově nejdražší vozidlo je Toyota Mirai FCV, to je způsobené



drahým procesem výroby a nutností použít nejmodernější technologie. Vozidlo také nemá přímého cenového konkurenta v oblasti pohonu elektromobilů s palivovými články. Prostřední sloupec v obr. 20 vyjadřuje cenu Volkswagenu e-golf, jež patří mezi konkurence schopné elektromobily a cena vozu je v souladu s nastaveným cenovým trhem těchto vozidel. Značnou část ceny vozu tvoří právě nutnost použití drahých vysokokapacitních lithium-iontových baterii. Nejlevnější vozidlo ze série porovnávaných, je Škoda Octavia III z roku 2017. Cena vozu odpovídá modelu s označením maximální výbavy Laurin a Klement.



**Obr. 21 Porovnání maximálních dojezdů vozidel s rozdílnými pohony**

Obr. 21 představuje grafický přehled teoretického dojezdu vozidel. Nejvyšších hodnot dosahuje verze se spalovacím motorem. Nejkratší dojezdová vzdálenost je omezena u vozidla Volkswagen e-golf. Nabíjení Volkswagenu e-golfu je rozděleno do dvou fází. První možnost poskytuje dobíjení kapacity akumulátoru z domácí sítě pod časovou hranici šesti hodin. Druhá možnost je využití rychlonabíjecího režimu na kapacitu akumulátoru 80 %. Tento stav baterie lze dosáhnout pod časovou hranici jedné hodiny. Doplnění pohonných hmot u Toyoty Mirai FCV se pohybuje přibližně ve stejném časovém intervalu, jako plnění nádrží konvenčního vozu se spalovacím motorem. Většinová hranice plnění nádrží vozidel s palivovými články nabývá hodnot do 5 minut.

## 8 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit souhrnný přehled vozidel s palivovými články, u vybraných typů shromáždit technické parametry a tabulkově, graficky zpracovat. V úvodních stranách je rozebrán princip funkce palivových článků, dále také druh použití paliva a jednotlivé rozdělení. Typ použití palivového článku závisí především na celkovém návrhu koncepce automobilu a jeho technickém řešení. Vozidla uvedená v této práci jsou koncepčně spojená s různými typy palivových článků, tedy nelze konkretizovat vhodnost použití jednoho typu. Nejvýraznějším a nejčtenějším typem jsou články s polymerní iontoměničovou membránou (PEMFC), použité u modelu Honda Clarity Fuel Cell a Hyundai Tucson FCEV. Tyto články jsou charakteristické vysokou proudovou hustotou, díky čemuž lze konstruovat systémy s nízkou hmotností a menší zástavbovou plochou, což je příznivé pro celkové parametry vozu.

Nejvyššího maximálního výkonu z uvedených dosahuje vozidlo Honda Clarity Fuel cell s výkonem 130 kW. Oproti tomu vozidlo s nejvyšším točivým momentem 335 N.m, je v grafickém znázornění obr. 13 zastoupeno modelem Toyota Mirai FCV. Maximální dojezd vozidel s palivovými články závisí na druhu skladování a využití efektivity paliva. Jeho výsledná hodnota se u uvedených modelů pohybuje v rozmezí 300 až 600 km. Vezmeme-li v úvahu krátkou dobu plnění palivových nádrží do hodnoty 5 min, netvoří doba čerpání paliva žádnou časovou překážku, jakožto tomu je u klasických elektromobilů s vysokokapacitními bateriemi. Z hodnocení uvedených parametrů vyplývá, že vozidla využívající k pohonu palivové články, jsou svými technickými parametry konkurenceschopná vozidlům s konvenčními pohony.

V současné době jsou vozidla využívající vodíkový pohon na dostupném komerčním trhu zastoupena pouze třemi výrobci. Dostupnost těchto vozů je poskytována pouze v rámci zpoplatněného testování ve vybraných státech s výjimkou modelu Toyoty Mirai FCV dostupnou ke koupi. V současnosti je cenově nejpříznivější pronájem vozu právě Toyoty Mirai FCV dostupnou za měsíční sazbu 349 USD s jednorázovým poplatkem 2 499 USD. Cena vozu zahrnuje veškeré bonusy nabízené konkurencí, včetně neomezené možnosti využívat čerpacích stanic.

Vysoká efektivita přeměny energie a nulové CO<sub>2</sub> emisní zatížení povede nadále k progresivitě této technologie. V současné době však brání širšímu rozvoji vozidel s palivovými články pouze řídká infrastruktura vodíkových stanic, jejichž investiční

náklady mnohdy přesahují milion eur. Vysoké dotační programy jednotlivých států však postupně budují sítě stanic, které mají být příslibem čisté a udržitelné dopravy. V Evropě se nejvyšší počet vodíkových stanic nachází v Německu, s konkrétní hodnotou padesáti stanic. Do roku 2023 by zde mělo vzniknout dalších více jak 350 čerpacích stanic. Z amerického kontinentu je to pak především stát Kalifornie, který v rámci dlouholeté státní podpory vodíkových programů vybudoval širokou síť čerpacích stanic. Z Asijských zemí je to zejména. Japonsko. Česká republika má pouze jednu vodíkovou čerpací stanicí, umístěnou ve městě Neratovice. Čerpací stanice se zde nachází z důvodu tankování prototypu linkového autobusu na palivové články. Do roku 2027 by mělo vzniknout v České republice dalších pět stanic.

## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VLK, F. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: Nakladatelství VLK, 2004. 234 s. ISBN 80-239-1602-5.
- [2] KAMEŠ, J. *Alternativní pohony automobilů*. Praha: BEN technická literatura, 2004. 231 s. ISBN 80-7300-127-6.
- [3] VLK, F. *Paliva a maziva motorových vozidel* Brno: Nakladatelství VLK, 2006. 375 s. ISBN 80-239-6461-5.
- [4] PORŠ, Z. *Palivové články*, Ústav jaderného výzkumu Řež a.s, 2002. Online [ cit 2017-01-13] Dostupné na :<<http://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/palivove-clanky.pdf>>
- [5] DOLEŽEL, I. *Palivové články - princip, konstrukce, vlastnosti a využití*. Ústav pro elektrotechniku AV ČR, Praha, 1999. Online [ cit 2017-01-20], dostupné na : < [www.powerwiki.cz/attach/APE/palivo.doc](http://www.powerwiki.cz/attach/APE/palivo.doc)>
- [6] HORÁK B., KOZIHOREK J., KOPŘIVA M., PAPOUŠEK M., SLANINA Z, *Studie pohonu mobilního prostředku s palivovým článkem*. 2005. Online [ cit 2017-02-08], dostupné na :< <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/5064.pdf>>
- [7] HONDA MOTOR COMPANY Ltd, *Specification of Honda Clarity*, Online [cit. 2017-02-09], dostupné na:< <http://world.honda.com/FCXClarity/specifications/>>
- [8] HYUNDAI MOTOR COMPANY, *ix35 fuel cell*, [cit. 2017-02-12]. Dostupné na: < <https://www.hyundai.com/worldwide/en/eco/ix35-fuelcell/highlights>>
- [9] Autoblog.com, *Specification of Tuscon Fuel cell*, Online [cit. 2017-02-12]. Dostupné na: < <http://www.autoblog.com/2014/02/20/human-waste-reborn-hydrogen-hyundai-tucson-fcev/>>
- [10] DAIMLER AG, *The B-Class with Fuel Cell Electric Drive Technology*, Online [cit. 2017-04-20]. Dostupné na: <<https://www.mbusa.com/vcm/MB/DigitalAssets/pdfmb/green/f-cell.pdf>>
- [11] Bestgreencars.com, *Toyota Mirai hydrogen fuel cell*, Online [cit. 2017-03-12], Dostupné na: < <http://www.bestgreencars.com/all-green-cars/toyota-mirai-hydrogen-fuel-cell-review-preview-2016>>
- [12] Hydrogencarsnow.com, *Ford focus fcv*, Online [cit. 2017-03-15]. Dostupné na: < <http://www.bestgreencars.com/all-green-cars/toyota-mirai-hydrogen-fuel-cell-review-preview-2016>>
- [13] Hydrogencarsnow.com, *VW golf hymotion*. Online [ cit 2017-02-13], dostupné na : <<http://www.hydrogencarsnow.com/index.php/vw-golf-hymotion/>>

- [14] Havránek, A. *Direct methanol fuel cell Online* [ cit 2017-04-18], dostupné na : <[http://technet.idnes.cz/jak-se-vyrabi-palivo-budoucnosti-vodik-pro-auta-i-elektroniku-p6d-/tec\\_tecnika.aspx?c=A080127\\_234744\\_tec\\_tecnika\\_vse](http://technet.idnes.cz/jak-se-vyrabi-palivo-budoucnosti-vodik-pro-auta-i-elektroniku-p6d-/tec_tecnika.aspx?c=A080127_234744_tec_tecnika_vse)>
- [15] Hydrogenlink, Dimler- On the Road to Sustainable Mobility, Online [ cit 2017-02-13], dostupné na: [http://www.hydrogenlink.net/download/pictures/h2cop15/1\\_daimler-fuelcell-vehicles-copenhagen.pdf](http://www.hydrogenlink.net/download/pictures/h2cop15/1_daimler-fuelcell-vehicles-copenhagen.pdf)
- [16] Volkswagen AG , *The coal of the future*, Online [ cit 2017-03-18], dostupné na: <<http://magazine.volkswagen.com/fuel-cell.html>>
- [17] General motors, *The general motors electrovan*, Online [ cit 2017-03-20], dostupné na: <https://www.gm.com/mol/6-1960-electrovan-van.html%C2%A8.html>
- [18] Detleif Stolen, *Hydrogen and Fuel cell*, Online [ cit 2017-02-13], dostupné na: <<https://books.google.cz/books?id=G5vyQqEGQoC&pg=PA801&lpg=PA801&dq=GM+electrovan+max+torque&source=bl&ots=sMUUYhK5Ei&sig=fzSAc7UxzeszRRA7kRZ6PNImDFk&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwi5z9Lg0IbTAhWBjSwKHdYPAgYQ6AEIGTAA#v=onepage&q&f=false>>
- [19] Researchgate.net, *Exploded view of PEM fuel cell stack*, Online [ cit 2017-02-13], dostupné na: [https://www.researchgate.net/figure/263490254\\_fig2\\_Fig-3-Exploded-view-of-PEM-fuel-cell-stack](https://www.researchgate.net/figure/263490254_fig2_Fig-3-Exploded-view-of-PEM-fuel-cell-stack)
- [20] Motortrend.com, Honda clarity fuel cell Quick drive review, Online [ cit 2017-02-17], dostupné na: < <http://www.motortrend.com/news/2017-honda-clarity-fuel-cell-quick-drive-review/> >
- [21] Toyota , *The hydrogen society and energy sources of the future*, Online [ cit 2017-02-13], dostupné na: [http://www.toyota-global.com/innovation/environmental\\_technology/fuelcell\\_vehicle/](http://www.toyota-global.com/innovation/environmental_technology/fuelcell_vehicle/)
- [22] Caranddriver.com, *Mercedes-benz F-cell* Online [ cit 2017-04-21], dostupné na: [http://www.toyota-global.com/innovation/environmental\\_technology/fuelcell\\_vehicle/global.com/innovation/environmental\\_technology/fuelcell\\_vehicle/](http://www.toyota-global.com/innovation/environmental_technology/fuelcell_vehicle/global.com/innovation/environmental_technology/fuelcell_vehicle/)
- [23] Scorpiocars.net, *General motor picture and wallpapers*, Online [ cit 2017-04-22], dostupné na: <<http://www.scorpiocars.net/wallpapers/General%20Motors/2008%20General%20Motors%20Hydrogen4%20concept>>
- [24] Wikipedia.org, *Toyota Mirai FCV* , Online, Online [ cit 2017-04-13], dostupné na: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Toyota\\_Mirai](https://en.wikipedia.org/wiki/Toyota_Mirai)>
- [25] Fuelcelltoday.com, *History* , Online [ cit 2017-02-04], dostupné na: < <http://www.fuelcelltoday.com/history> >

## 10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Průběh změny energie při přechodu stavu [4] .....	12
Obr. 2 Princip funkce palivového článku [4].....	13
Obr. 3 Rozklad souboru palivového článku [19].....	14
Obr. 4 V-A charakteristika palivového článku se ztrátovými faktory [4] .....	19
Obr. 5 AC Synchronní elektromotor [16].....	20
Obr. 6 Honda Clarity Fuel Cell [20] .....	22
Obr. 7 Hyundai Tuscon FCV [9] .....	23
Obr. 8 Toyota Mirai FCV [21].....	25
Obr. 9 Mercedes-Benz B F-Cell [22].....	27
Obr. 10 Volkswagen Golf Variant HyMotion [13].....	28
Obr. 11 General Motors HydroGen4 [23] .....	30
Obr. 12 Ford Focus FCV [12].....	31
Obr. 13 Porovnání výkonu a točivého momentu vozidel s palivovými články .....	33
Obr. 14 Porovnání maximálních konstrukčních rychlostí vozidel s palivovými články	34
Obr. 15 Porovnání zrychlení z 0 na 100 km/h vozidel s palivovými články .....	34
Obr. 16 Porovnání maximálních dojezdů vozidel s palivovými články .....	35
Obr. 17 Porovnání spotřeby vodíku vozidel s palivovými články.....	36
Obr. 18 Porovnání maximálních tlaků palivových nádrží vozidel s palivovými články	36
Obr. 19 Porovnání točivého moment, výkonu a maximální rychlosti vozidel s rozdílnými pohony .....	40
Obr. 20 Porovnání cen vozů s rozdílnými pohony .....	40
Obr. 21 Porovnání maximálních dojezdů vozidel s rozdílnými pohony .....	41

## 11 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Rozdělení palivových článků podle provozní teploty [4].....	15
Tab. 2 Přehled elektrochemických reakcí palivových článků [4].....	17
Tab. 3 Přehled technických parametrů Honda Clarity Fuel Cell.....	22
Tab. 4 Přehled technických parametrů Hyundai Tuscon FCEV.....	24
Tab. 5 Přehled technických parametrů Toyota Mirai FCV.....	25
Tab. 6 Přehled technických parametrů Mercedes-Benz B F-Cell.....	27
Tab. 7 Přehled technických parametrů Volkswagen Variant HyMotion.....	28
Tab. 8 Přehled technických parametrů General Motors HydroGen4.....	30
Tab. 9 Porovnání technických parametrů Ford Focus FCV.....	31
Tab. 10 Přehled technických parametrů vozidel s palivovými články.....	32
Tab. 11 Přehled technických parametrů vozidel s palivovými články.....	35
Tab. 12 Přehled cen a poplatků vozidel s palivovými články dostupné na komerčním trhu.....	37
Tab. 13 Přehled režimů spotřeby paliva vozidel s palivovými články dle EPA [24].....	38
Tab. 14 Přehled technických parametrů Volkswagen e-Golf.....	38
Tab. 15 Přehled technických parametrů Škoda Octavia III 1,4 TSI.....	39
Tab. 16 Přehled technických parametrů vozidel s rozdílnými pohony.....	39
Tab. 17 Přehled technických parametrů vozidel s rozdílnými pohony.....	39