

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

Studijní program: N0413A050001 Ekonomika a management

Studijní obor/specializace: Specializace Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců

STANOVENÍ TRŽNÍHO POTENCIÁLU VODÍKOVÝCH AUTOMOBILŮ NA VYBRANÉM TRHU EU Diplomová práce

Kryštof MAXA, BA

Vedoucí práce:
Ing. Josef Bradáč Ph.D.



ŠKODA AUTO Vysoká škola

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel: **Kryštof Maxa**

Studijní program: Ekonomika a management

Specializace: Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců

Název tématu: **Stanovení tržního potenciálu vodíkových automobilů na vybraném trhu EU**

Cíl: Cílem diplomové práce je na základě technicko-ekonomických aspektů posoudit tržní potenciál automobilů s vodíkovým pohonem v porovnání s dalšími používanými typy pohonů v automobilovém průmyslu na vybraném trhu EU.

Rámcový obsah:

1. Charakteristika vodíkového pohonu a možnosti jeho využití pro osobní automobily.
2. Zhodnocení úrovně vodíkového pohonu vůči ostatním pohonům na základě technických a ekonomických aspektů.
3. Specifikace automobilového trhu ve vybraném státě EU.
4. Posouzení tržního potenciálu vodíkových automobilů na daném trhu.
5. Shrnutí dílčích výsledků a určení potenciálu využití vodíkového pohonu u osobních automobilů.

Rozsah práce: 55 – 65 stran

Seznam odborné literatury:

1. COOK, P. *Leading innovation, creativity and enterprise*. Bloomsbury, 2016. 242 s. ISBN 978-1-4729-2539-8.
2. BESSANT, J R. – TIDD, J. *Innovation and entrepreneurship*. John Wiley & Sons, 2015. 524 s. ISBN 978-1-118-99309-5.
3. DUMITRESCU, D. *Beat accelerating customer expectations with: trend-driven innovation*. Wiley, 2015. 352 s. ISBN 978-1-119-07631-5.
4. TOMEK, G. – VÁVROVÁ, V. *Vize tržního úspěchu*. 1. vyd. Praha: Professional Publishing, 2012. ISBN 978-80-7431-071-3.
5. HROMÁDKO, J. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony.: Komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilových škol*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.

Datum zadání diplomové práce: březen 2021

Termín odevzdání diplomové práce: květen 2022

L. S.

Elektronicky schváleno dne 4. 5. 2021

Kryštof Maxa
Autor práce

Elektronicky schváleno dne 4. 5. 2021

Ing. Josef Bradáč, Ph.D.
Vedoucí práce

Elektronicky schváleno dne 8. 5. 2021

doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.
Garant studijní specializace

Elektronicky schváleno dne 9. 5. 2021

doc. Ing. Pavel Mertlík, CSc.
Rektor ŠAVŠ

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval(a) samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil(a) vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnici OS.17.10 Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom(a), že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne

Děkuji Ing. Josefu Bradáčovi Ph.D. za odborné vedení závěrečné práce, poskytování rad a informačních podkladů. Dále bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za poskytnutou morální podporu. Především bych chtěl poděkovat svému otci, který zemřel během psaní závěrečné práce, za jeho neustálou podporu při studiích.

Obsah

Úvod.....	7
1 Charakteristika vodíkového pohonu a možnosti jeho využití pro osobní automobily	8
1.1 Využití vodíku pro spalovací motory	9
1.2 Využití vodíku v palivových článcích	11
1.3 Zhodnocení jednotlivých variant využití vodíku v osobních automobilech	13
1.4 Výroba vodíku	15
1.5 Tankování vodíku	18
2 Specifikace automobilového trhu ve vybraném státě EU	19
2.1 Analýza německého trhu automobilů v letech 2019 a 2020	20
2.2 Předpokládaný vývoj německého trhu.....	24
2.3 Plány Německa na podporu vodíkového pohonu	29
3 Zhodnocení úrovně vodíkového pohonu vůči standardním a alternativním pohonům na základě technických a ekonomických aspektů.	33
3.1 Vodíkový pohon v porovnání se spalovacím motorem	34
3.2 Vodíkový pohon v porovnání s plug-in hybridním pohonem.....	37
3.3 Vodíkový pohon v porovnání s bateriovým elektrickým pohonem.....	41
4 Posouzení tržního potenciálu vodíkových automobilů na Německém trhu	45
4.1 SWOT analýza	45
4.2 Technologická připravenost německého trhu.....	50
4.3 Nutné předpoklady aplikace do reálného provozu	56
4.4 Tržní potenciál elektromobilů s palivovým článkem	60
Závěr	68
Seznam literatury	69
Seznam obrázků a tabulek.....	78

Seznam použitých zkratk a symbolů

Pkw Osobní automobil

AG akciová společnost

GmbH společnost s ručeným omezenýmF

RWE Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG

FCEV Elektromobil s palivovým článkem

BEV bateriový elektromobil

PHEV plug-in hybridní automobil

ICE konveční automobil

Úvod

V posledních několika letech došlo k nárůstu poptávky a nabídky alternativních pohonných systémů osobních automobilů. Díky zvyšujícímu se tlaku veřejného mínění na bez-emisní dopravu se do centra dění dostaly pohony, které neprodukují během provozu emise škodlivých plynů. Jedním z bez-emisních typů je pohon palivovým článkem s vodíkovým palivem. Diplomová práce se zabývá stanovením tržního potenciálu vodíkových osobních automobilů na největším trhu Evropské Unie. Práce stručně vysvětluje princip alternativních pohonů a ve větším detailu princip vodíkových automobilů s palivovým článkem. Jednotlivé pohony jsou v rámci práce porovnány na základě technických, ekonomických a ekologických aspektů.

Hlavním cílem práce je stanovit tržní potenciál vodíkových automobilů na německém trhu. Mezi dílčí cíle práce patří posouzení připravenosti německého trhu na příchod vodíkového pohonu, stanovení nutných předpokladů a doby aplikace vodíkového pohonu do reálného provozu.

Diplomová práce je založena především na sekundárních zdrojích. Využité zdroje jsou především odborné publikace, oficiální dokumenty národních a nadnárodních organizací a výzkumné studie.

Teoretická část práce se zaměřuje na vysvětlení možných typů vodíkových pohonů, principu tankování paliva a metody výroby vodíku. Dále práce analyzuje vývoj německého trhu během období 2019-2020 a identifikuje trendy v souvislosti s rozvojem alternativních pohonů. Práce stručně popisuje strategii německé vlády na podporu a rozvoj vodíkových technologií.

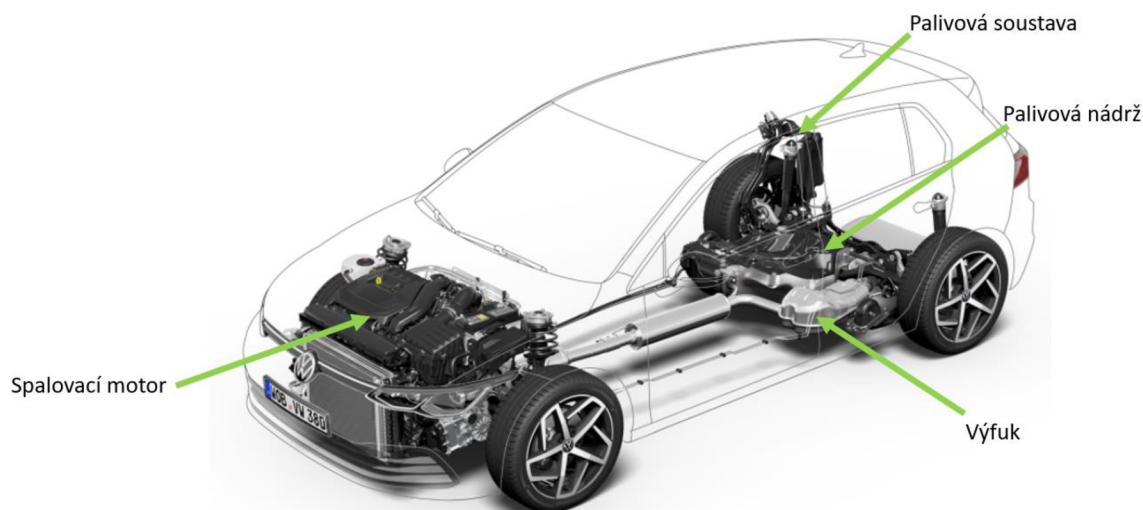
Praktická část diplomové práce se věnuje stanovení tržního potenciálu vodíkového pohonu. Pro stanovení tržního potenciálu bylo provedeno zhodnocení vodíkového pohonu vůči konvenčním a alternativním typům pohonů na základě technických, ekonomických a ekologických aspektů. Dalším nástrojem byla SWOT analýza tržního prostředí. V neposlední řadě byla zhodnocena technologická připravenost německé vodíkové infrastruktury a byly stanoveny základní předpoklady pro aplikaci vodíkového pohonu do reálného provozu.

1 Charakteristika vodíkového pohonu a možnosti jeho využití pro osobní automobily

V posledních několika desetiletích došlo k výraznému rozmachu automobilového průmyslu v celém světě. Dlouhodobým problémem automobilů poháněných spalovacími pohonnými jednotkami jsou emise škodlivých plynů a snižování zásob pohonných hmot. S přelomem tisíciletí si lidé včetně vlád začali uvědomovat zhoršující se situaci ohledně vyčerpatelnosti fosilních paliv a také škodlivosti plynů produkovaných osobními automobily z hlediska životního prostředí. Díky neustávajícímu vývoji na poli agregátů a výfukových systémů, a to jak politickému, tak technickému, bylo možné dosáhnout významné redukce ve spotřebě a produkovaných emisí oxidu uhličitého ze spalovacích automobilů (Hromádko, 2012). Především kvůli svému rozmachu se automobilový průmysl dostal pod drobnohled ekologických organizací a vlád, což mělo za důsledek zpřísnující emisní normy a hledání alternativních paliv a pohonných systémů tím dostalo nový impuls. Mezi alternativní pohony lze zařadit jakékoli jiné koncepce pohonů, které se liší od standardních konvenčních motorů s vnitřním spalováním. Jednou z prvních alternativ ke spalovacím motorům byly již v devatenáctém století elektromobily (Hromádko, 2012). Dalším alternativním palivem, které je již i nasazeno v praxi, je vodík. Myšlenka pohánět spalovací motory vodíkem je ve své podstatě stará jako spalovací motory. Nápad na spalování vodíku ve spalovacích motorech vznikl v roce 1807, kdy byl patentován plynový motor na svítiplyn či vodík Švýcarem Isaacem de Rivaz (Remek, 2012). První nápad použití palivového článku přišel o 82 let později v roce 1889. Palivový článek byl tehdy založen na vzduchu a svítiplynu. Pravděpodobně první palivový článek využívající vodíkové palivo byl vynalezen roku 1932 doktorem Francisem Thomasem Baconem (Hromádko, 2012). Pro smysluplné využití vodíku k pohánění osobních automobilů bude nutné dodržet jeho ekologickou výrobu. Ačkoli je vodík nejčastějším chemickým prvkem ve vesmíru, tak se ve volné přírodě takřka nevyskytuje samostatně (Volker, 2008). Většinou se vodík vyskytuje ve sloučeninách, z nichž nejznámější je voda. Z vody může být vodík přeměněn za použití elektrolýzy.

1.1 Využití vodíku pro spalovací motory

Vozidla se spalovacím motorem jsou dělena na dva typy (Hromádka a kol., 2011). Prvním typem je motor zážehový a druhým typem je motor vznětový. Oba typy motorů jsou používány v moderních osobních automobilech a jsou čtyřdobé. V zásadě je princip fungování velice podobný (Ferguson & Kirkpatrick, 2015). Hlavním rozdílem je použití paliva, kdy pro zážehový motor se využívá kapalného benzínu a pro vznětový se využívá kapalná motorová nafta (dieslu). Pro zážehový motor lze využít i plynná paliva jako stlačený nebo kapalný zemní či kapalný ropný plyn. Princip čtyřdobého pístového spalovacího motoru se dělí na sání, stlačení (komprese), expanze spojená s výbuchem směsi paliva a vzduchu a následný výfuk. V případě zážehových motorů je během prvního cyklu vstříknuta směs paliva (benzínu) a vzduchu. Pokud se jedná o motory s technologií přímého vstřikování paliva, je vstříknuto palivo a nasán čistý vzduch. V tomto případě dojde k vytvoření směsi až v pístové komoře. Poté dochází ke stlačení směsi paliva a vzduchu. V návaznosti je ve třetím kroku směs paliva zažehnuta pomocí svíčky, čímž dochází k výbuchu a expanzi. Během poslední doby dochází k výfuku spalin ven z pístu. U vznětových motorů je princip částečně odlišný. Během první doby dochází k nasání čistého vzduchu. Ve druhé době dochází ke stlačení nasátého vzduchu. Třetí doba vznětového motoru je spojená se vstřikem paliva do válce, kdy dochází k samovznícení a následné expanzi. Čtvrtá doba je již plně identická se zážehovým motorem. Po skončení čtvrté doby dochází k zopakování celého procesu. Během expanze a výbuchu dochází k přenosu energie na hnací ústrojí automobilu a automobil se dá do pohybu. Na obrázku 1 je znázorněno rozložení vozidla s konvenčním spalovacím motorem.

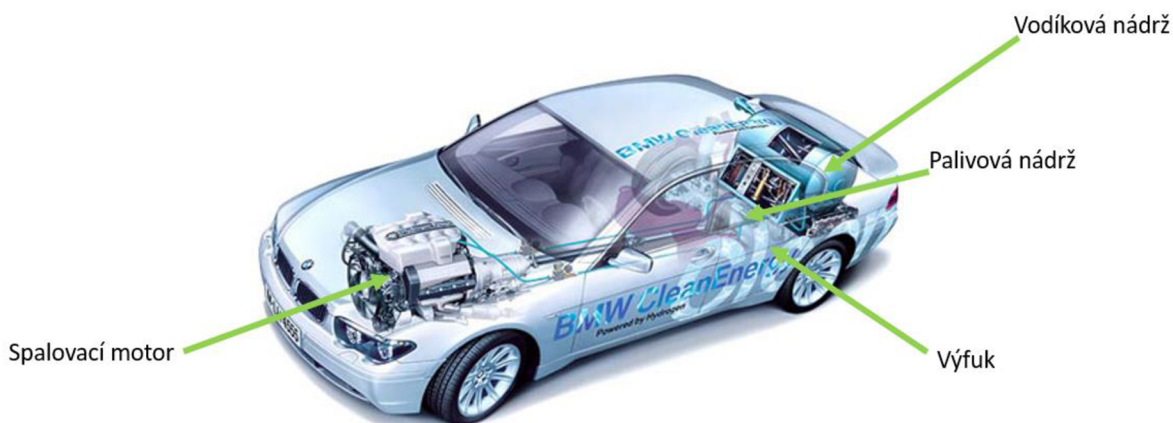


Zdroj: Upraveno dle (Volkswagen newsroom, 2019)

Obr. 1 Schéma automobilu se spalovacím motorem

Využití vodíkového paliva pro spalovací motory není novou myšlenkou. Na první pohled se může jevit spalování vodíku ve spalovacích motorech jako optimální řešení, nicméně tuto technologii doprovází několik problémů. Vodík vzhledem ke své vysoké teplotě samovznícení je nejvhodnější pro pístové spalovací motory (Hromádko, 2012). Nejdále se v této technologii dostala značka BMW s modelem BMW 750hL (Die Brennstoffzelle, 2021). Motor funguje v klasickém čtyřdobém cyklu. Konkrétně u značky BMW bylo využito zážehového motoru (Hromádko, 2012). Při spalování vodíku nedochází k produkci téměř žádných škodlivých emisí. Při spalování vodíku dochází k emisím vodní páry a škodlivého oxidu dusíku. Ovšem i oxid dusíku může být minimalizován systémem zpětného vedení spalin zpět do motoru. U značky BMW bylo využito upraveného dvanácti válcového motoru se schopností spalovat jak vodík, tak benzín. Po vyprázdnění nádrže s vodíkem, stačí přepnout na záložní benzínovou nádrž. Dojezd pouze na vodík byl kolem 400 km. Vodík se v upraveném osobním automobilu převáží značně podchlazený o teplotě $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mýtus o tom, že převážet vodík v osobním automobilu je velice nebezpečné byl vyvrácen díky otestování vodíkové nádrže, která vykazovala minimálně stejné vlastnosti jako benzínová či naftová nádrž. Vozidlo poháněné spalováním vodíku ke svému chodu nepotřebuje akumulátor. Namísto akumulátoru je vybaveno několika palivovými články, které se starají o poskytování elektrické energie pro vozidlo. Pokud vozidlo stojí, dochází k odstavení spalovacího motoru a všechny funkce vozidla jsou poháněny palivovým článkem. Mezi hlavní přednosti

vodíku ve spalovacích motorech patří možnost spalovat velmi chudé směsi, což ústí ve snížení spotřeby vozidla při malých zatíženích motoru. Dále vypouští i méně emisí než klasické spalovací motory. Ve srovnání s bateriovými elektromobily je jasnou výhodou doba naplnění nádrže, která se prakticky neodlišuje od načerpání kapalného zemního plynu. Doba tankování vodíku je v rozmezí od 3 do 5 minut. Tedy doba naplnění vodíkové nádrže je výrazně menší než dobití elektromobilu. Hlavními problémy jsou cena vodíku, vysoká energetická náročnost výroby vodíku, dostupnost a ekologičnost výroby. Myšlenka spalování vodíku v klasických spalovacích motorech byla dnes již prakticky opuštěna a vývoj se zaměřuje především na využití technologie palivového článku s vodíkovým palivem. Na obrázku 2 níže je znázorněno rozložení pohonného systému automobilu, který spaluje vodík.



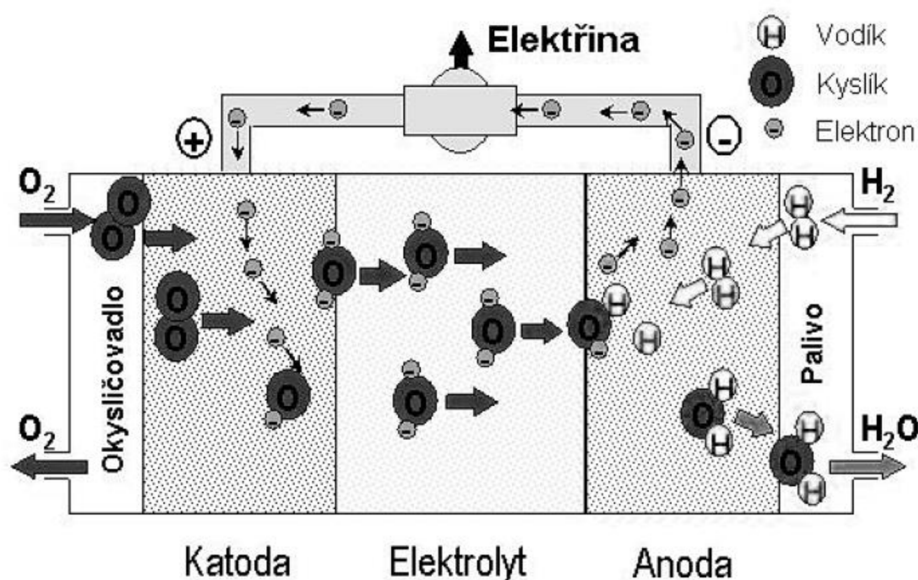
Zdroj: Upraveno dle (Die Brennstoffzelle, 2021)

Obr. 2 Schéma automobilu spalující vodík

1.2 Využití vodíku v palivových článcích

Dalším využitím vodíku pro osobní automobily jsou palivové články. Oproti prvnímu využití, kdy dochází ke spalování směsi vodíku a kyslíku uvnitř spalovací komory spalovacího motoru, a dochází tak k tepelné reakci, jejímž vedlejším produktem je oxid dusnatý, tak u technologie palivového článku již k žádnému nežádoucímu vedlejším produktu v podobě škodlivých plynů nedochází. Lze tedy typ pohonu palivovým článkem označit za bez-emisní, jelikož jediným vedlejším produktem palivového článku je voda (The Society of Motor Manufacturers and Traders, 2019). Vozidla s pohonem palivového článku jsou řazena mezi elektromobily, jelikož jsou poháněna elektrickou energií, kterou uchovávají prostřednictvím vodíku namísto

bateriových systémů. Vozidla s tímto typem pohonu se označují jak FCEV (Fuel cell electric vehicle). U osobních automobilů s palivovým článkem je stejně jako u klasických spalovacích motorů k dispozici nádrž a je zachována výhoda rychlého natankování. Doba tankování vodíku je v rozmezí od 3 do 5 minut. Vozidlo na palivový článek přebírá dva základní komponenty z automobilů se spalovacím pohonem, a to výfuk a nádrž na palivo. Mimo to disponuje i komponenty z bateriových elektromobilů, jako je akumulátor a elektromotor. Princip fungování vozidla s palivovým článkem je následující. Do palivového článku je přiveden vodík a vzduch z okolního prostředí. Jedná se tedy o elektrochemickou reakci, při které je přeměněna elektrická energie v palivu skrze oxidačně-redukční reakci na elektrickou energii (Hromádko, 2012). Palivový článek je tvořen z katody, elektrolytu a anody (Deloitte China, 2020). Na stranu katody se přivádí kyslík nebo vzduch z ovzduší, který následně prochází skrze elektrolyt k anodě, kam je přiveden vodík. Elektrolyt plní funkci jakéhosi filtru, aby k reakci docházelo pouze na straně anody. U anody dojde k chemické reakci, při které je sloučen vodík s kyslíkem a vzniká tak voda a elektrická energie. V podstatě se jedná o opačný proces, než je využití elektrolýzy pro výrobu vodíku z vody. Na obrázku 3 je znázorněn princip fungování vodíkového palivového článku.

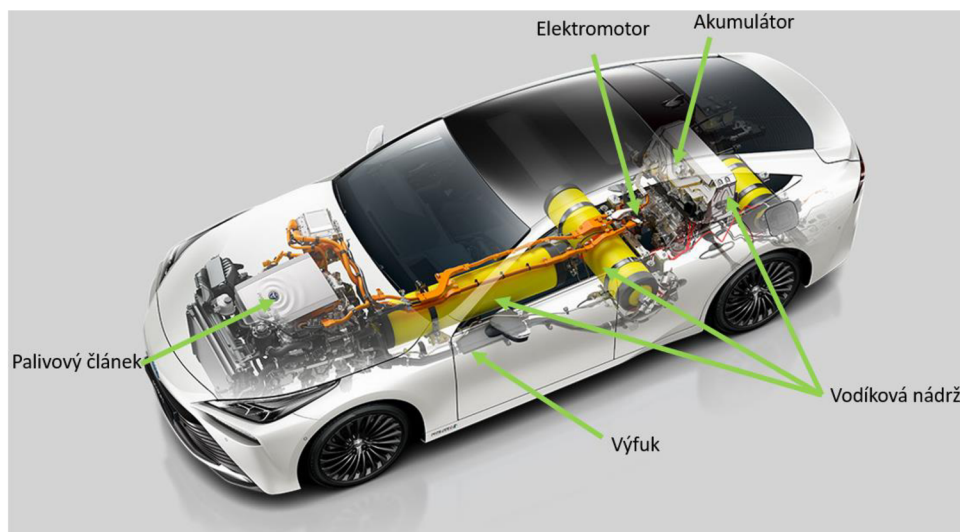


Zdroj: (Hromádko, 2012, str. 86)

Obr. 3 Schéma funkce palivového článku

Vytvořená energie je následně použita k pohonu vozidla a jeho systémů nebo je uskladněna v akumulátoru pro pozdější využití. Za hlavního průkopníka lze označit

značku Toyota se svým modelem Mirai. Pro pohon osobních automobilů je využito palivového článku s polymerní iontoměničovou membránou (PEMFC) (Deloitte China, 2020). Membrána u palivových článků plní funkci elektrolytu. Předností palivového článku je jeho vysoká proudová vodivost, což umožňuje konstrukci menšího a lehčího palivového článku (Hromádko, 2012). Zároveň palivový článek je schopný fungovat při nízkých teplotách. Další výhodou tohoto typu palivového článku oproti jiným je okamžitá reakce na změnu požadovaného výkonu. U takto postavených palivových článků není produkováno mnoho vedlejšího tepla, což lze označit za další výhodu. Hlavními výhodami vozidel na palivový článek jsou krátká doba naplnění nádrže, větší dojezd než u bateriových elektromobilů, vyšší účinnost než u spalovacích motorů, a to až dvojnásobně, a především nulové emise. Jako v předchozím případě se mezi hlavní nevýhody řadí vysoká cena vodíku, vysoká energetická náročnost výroby vodíku, dostupnost a ekologický aspekt výroby vodíku. Na obrázku 4 je znázorněno rozložení automobilu s pohonem palivovým článkem.



Zdroj: Upraveno dle (Toyota CZ, 2021)

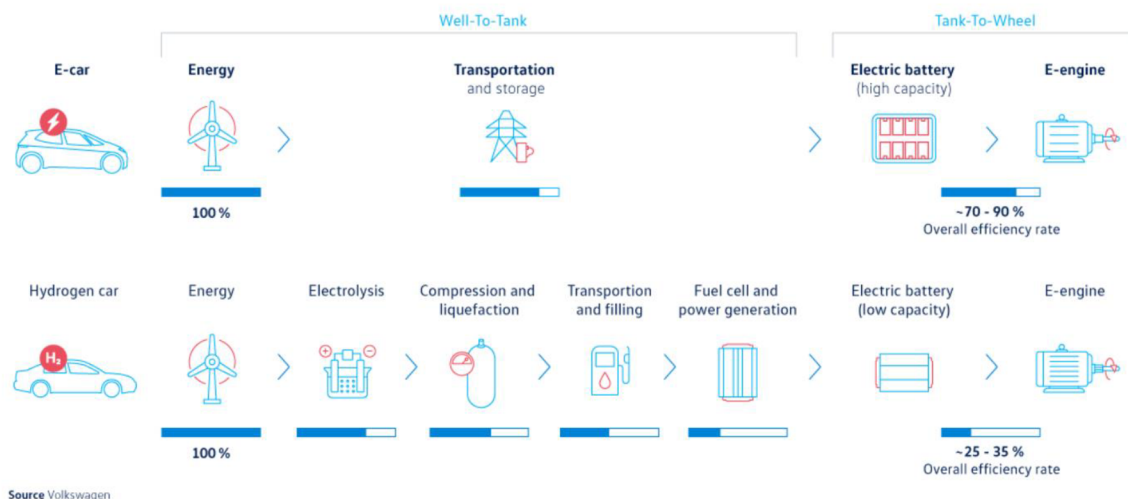
Obr. 4 Schéma automobilu s vodíkovým palivovým článkem

1.3 Zhodnocení jednotlivých variant využití vodíku v osobních automobilech

Jako vhodnější využití vodíku pro pohon vozidel se jeví palivový článek. Konkrétně v Německu už používají první automobily na palivový článek využívající vodíkové palivo u berlínské policie a u berlínských hasičů (Toyota Europe, 2021). Dále se

vozidla na palivový článek adaptovala i v taxi službách jako například v Berlíně či Paříži (Toyota Europe, 2021). Nabídka vozidel s pohonem palivového článku je v současnosti velice omezená, nicméně výrobci automobilů počítají s novými modely s tímto druhem pohonu (mobile.de, 2021). Toyota Motor Corporation (dále jen Toyota) přišla na trh se svým modelem Mirai druhé generace poháněným palivovým článkem na přelomu let 2020/21. Druhým v současnosti dostupným modelem je Hyundai Nexa. V minulosti zde byl nabízen i Mercedes GLC F-Cell, ale pouze na leasing (H2 Mobility, 2021). Audi AG (dále jen Audi) plánuje uvést na trh model H-tron v roce 2025 (Audi, 2021). Dalším německým výrobcem automobilů, který počítá s modelem poháněným palivovým článkem je BMW AG (dále jen BMW) (BMW Group, 2021). V zásadě je myšlenka spalování vodíku opuštěna, a to i díky politice Evropské unie. Výše zmínění výrobci se ubírají směrem palivového článku využívající vodíkového paliva. Automobil poháněný palivovým článkem kombinuje značné výhody bateriových elektromobilů a klasických spalovacích automobilů. Jednou z hlavních předností je, že elektromobil s palivovým článkem disponuje větším dojezdem než bateriové elektromobily. Druhou je zachování rychlého doplnění pohonných hmot jako v případě konvenčních automobilů se spalovacím motorem. A především nejsou závislá na vnější teplotě, která ovlivňuje dojezd jako v případě bateriových elektromobilů. Z bateriových elektromobilů přebírají vozidla poháněná palivovým článkem výhodu tichého chodu a okamžitého nástupu výkonu. Z ekologického hlediska je značnou výhodou to, že automobily s palivovým článkem neprodukují žádné lokální emise skleníkových plynů. Výzvou pro vodík zůstává jeho výroba a energetické ztráty při ní způsobené. Co se účinnosti týče, tak jsou bateriové elektromobily účinnější, jelikož nedochází k takovým ztrátám při přenosu energie jako u vozidel s palivovým článkem. Bateriové elektromobily dosahují účinnosti od 70 do 90 % a elektromobily s palivovým článkem pouze 25 % až 35 % (Volkswagen, 2020). Rozdíl je způsoben především díky větší náročnosti na technologie a energie potřebné pro výrobu a skladování vodíku. V případě bateriových elektromobilů či plug-in hybridů je systém zásobování energií nastaven tak, že přímo od výrobce putuje energie k nabíjecím stanicím, a poté do baterií elektromobilů. Ztráty procesu jsou v rozsahu od 10 % až do 30 %. Kdežto vodíková infrastruktura je složitější. V prvním kroku je potřeba vodík vyrobit za použití elektrické energie, jako v případě elektrolýzy. V druhém kroku musí být vodík stlačen nebo zkapalněn, aby mohl být následně transportován na čerpací stanici.

Až po naplnění nádrže vozidla je vodík zužitkován k pohonu vozidla. V řetězci vodíkového zásobování dochází ke ztrátám během každého kroku. Ztráty při celém procesu jsou ve výši od 65 % až do 75 %. Nicméně může být jednodušší upravit současnou síť čerpacích stanic z klasických fosilních paliv na vodík, než provést nezbytné úpravy v infrastruktuře pro bateriové elektromobily. Potřebné úpravy by zahrnovaly především úpravy rozvodné sítě kvůli většímu zatížení a vybudování značného množství elektráren na obnovitelné zdroje elektrické energie. Vybudování elektráren na obnovitelné zdroje je ovšem společným jmenovatelem pro oba typy pohonů. Nicméně, upravení rozvodné sítě elektrického proudu skrze celé Německo je v podstatě nepředstavitelné, a proto se jeví jako jednodušší úprava současných čerpacích stanic na vodíkové palivo. Na obrázku 5 je znázorněna efektivita obou typů pohonů elektromobilů.



Zdroj: (Volkswagen, 2020)

Obr. 5 Účinnost elektromobilů s pohony baterií a palivového článku v provnání

1.4 Výroba vodíku

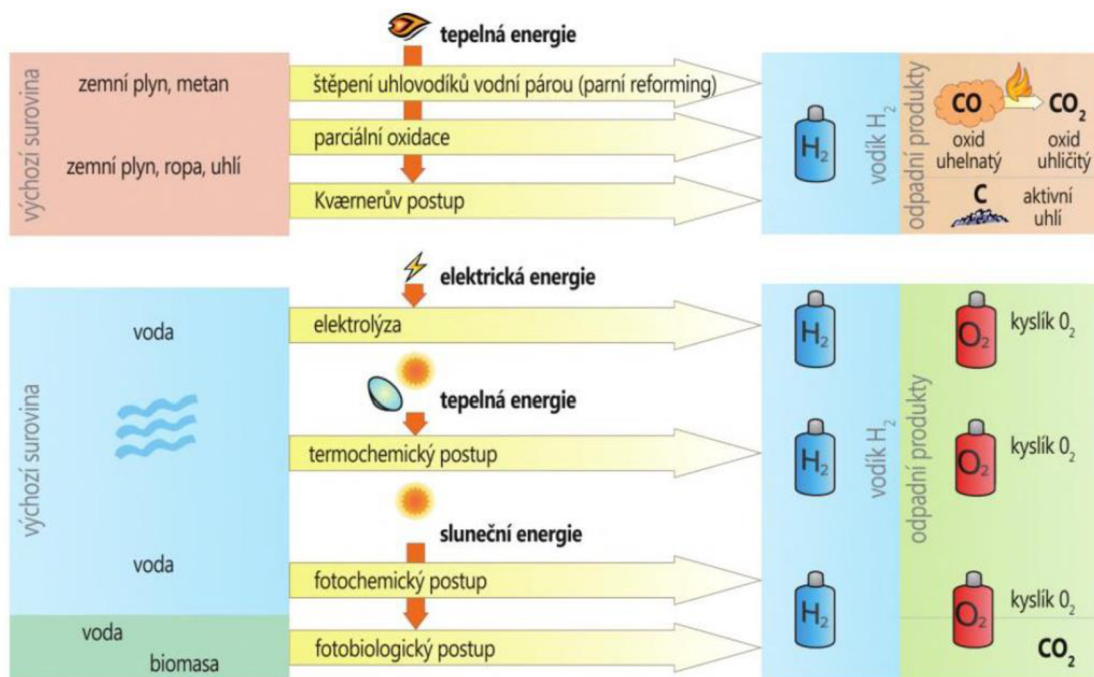
Vodík může být získán z různých zdrojů (Volker, 2008). Nejběžnějším zdrojem na naší planetě je voda, mimo to je možné vodík získat i z uhlovodíkových sloučenin jako zemní plyn, metan, ropa a uhlí. K získání vodíku z fosilních paliv, jako je zemní plyn, ropa a uhlí, je využíváno různých postupů, jako je parciální oxidace nebo parní reforming (Volker, 2008). Při přeměnách pomocí parciální oxidace nebo parního reformingu dochází ke změně uhlíku na oxid uhelnatý, který je možné spalovat či jinak energeticky využívat. V obou případech je ovšem konečným produktem oxid uhličitý, který je z hlediska ochrany klimatu nežádoucí, a proto parciální oxidace

či parní reforming jsou nežádoucí pro ochranu klimatu (Hromádko, 2012). K výrobě vodíku z fosilních paliv je možno využít i Kvarnerův postup (Volker, 2008). Jediným odpadním produktem této přeměny je čistý uhlík. Vyprodukovaný uhlík lze pak využít pro výrobu různých kompozitních materiálů. Kvarnerův postup je tedy ekologičtější a nevytváří žádné emise oxidu uhličitého. Výše zmíněné postupy ovšem potřebují značné množství energie, jelikož fungují při vysokých teplotách. A pokud je elektrická energie dodávána z elektráren na fosilní paliva, tak opět dochází k produkci emisí oxidu uhličitého.

Alternativou, která disponuje na naší planetě téměř nevyčerpatelnými zdroji, je elektrolyza vody. Elektrolyza potřebuje pro správné fungování vodu a elektrický proud (Volker, 2008). Při této formě výroby vodíku dochází k rozložení vody na základní prvky, a to vodík a kyslík v plynném stavu (Hromádko, 2012). V zásadě elektrolyza funguje tak, že do nádrže s vodou je vložena katoda a anoda. Katoda je elektroda se záporně nabitými částicemi a anoda je elektroda s kladně nabitými částicemi. Do katody a anody je přiveden proud, a poté začne ve vodě probíhat chemická reakce, kdy dochází k oxidaci vody. Kladné částice se přibližují ke katodě a záporné částice k anodě. Výsledkem této reakce je plynný vodík a plynný kyslík. Při tomto procesu výroby vodíku nedochází k žádné produkci emisí oxidu uhličitého. Vodík je z vody možné získávat i dalšími způsoby. Mezi další způsoby získávání vodíku z vody patří termochemické štěpení vody a fotochemický proces fotoelektrolyza. Prvně jmenované termochemické štěpení vody pracuje za velmi vysokých teplot v několika vzájemně na sobě navazujících chemických reakcích (Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2019). V zásadě dochází ke štěpení vody při podmínkách velmi podobných jako v jaderných reaktorech. Voda je zde rozštěpena na své základní prvky, a to kyslík a vodík. Ovšem termochemický proces je velice náročný na teplo, na elektrickou energii a také na materiály použité pro konstrukci takovýchto zařízení. Druhým jmenovaným procesem je fotoelektrolyza. Při tomto procesu dochází k rozkladu vody za působení slunečního světla (Volker, 2008). Ve své podstatě je proces velice podobný, jako když je využíváno slunečního svitu za pomoci fotovoltaických panelů k získávání elektrické energie. V zařízeních pro fotoelektrolyzu dochází na rozdíl od fotovoltaických panelů k rozkladu vody na kyslík a vodík za použití energie přímo ze slunce (Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2019). Jediným rozdílem

mezi fotovoltaickým a fotoelektrolyzačním panelem je, že nedochází k přímé tvorbě elektrické energie, ale rovnou k přeměně vodíku. Za dodržení podmínky využívání obnovitelných zdrojů elektrické energie mohou být postupy pro získávání vodíku jako elektrolýza, termochemické štěpení vody a fotoelektrolýza zcela bezemisní. Tím pádem by vodík mohl být palivem budoucnosti.

Další alternativou může být přetvoření biomasy. Pro přetvoření na vodík může být využito stejného postupu jako v případě fosilních paliv, a to parního reformingu (Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2019). Při tomto procesu se v prvním kroku uvolňují z biomasy plyny jako metan, vodík a oxid uhelnatý. Během druhé fáze dochází k přeměně metanu a oxidu uhelnatého na vodík při vysokých teplotách. Výhodou této metody může být zpracování biologického komunálního odpadu z domácností a potravinářského průmyslu nebo zpracování odpadní či cíleně pěstované biomasy (Hromádko, 2012). Parní reforming je velice nákladný. Pokud biomasa obsahuje vysoké množství vody, tak musí být nejprve vysušena a až poté přetvořena. Parní reforming ovšem není jediný způsob získávání vodíku z biomasy. Jako ekonomicky vhodnější se jeví fotobiologická výroba vodíku (Hromádko, 2012). Fotobiologický postup lze rozdělit na dva další, a to přímou a nepřímou fotobiologickou výrobu vodíku. Oba procesy potřebují biomasu s vyšším obsahem vody, kdy hlavním katalyzátorem reakce jsou mikroorganismy, které fungují při nízkých teplotách a tlacích. Prvním postupem je nepřímá fotobiologická výroba vodíku, též nazývaná vodíková fermentace (Hromádko, 2012). Při tomto postupu dochází k rozkladu biomasy pomocí bakterií, které produkují vodík (Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2019). Celý proces nepřímé fotobiologické výroby probíhá bez přítomnosti světla. Zbylý odpad je možno znovu využít, a tím zvýšit výtěžitelnost vodíku z biomasy (Hromádko, 2012). Postup využívající odpad z vodíkové fermentace je nazýván přímá fotobiologická výroba. Postup přímé fotobiologické výroby vodíku se od nepřímé fotobiologické výroby liší v použití jiných bakterií a přístupem světla. Pokud by vodík byl získáván přímým či nepřímým způsobem fotobiologické výroby, není v podstatě zapotřebí mnoho elektrické energie. Za dodržení podmínky využití obnovitelných zdrojů energie může přímý fotobiologický způsob získávání vodíku být v podstatě bezemisní. Na obrázku 6 je znázorněn přehled způsobů výroby vodíku se zdrojovými a odpadními látkami.



Zdroj: (Volker, 2008, str. 259)

Obr. 6 Přehled způsobů výroby vodíku

1.5 Tankování vodíku

Princip čerpání vodíku do nádrže elektromobilu s palivovým článkem je ve své podstatě stejný u fosilních paliv. Vodík lze do vozidel natankovat ve dvou formách (Hromádko, 2012). Vodík je do čerpacích stanic dodáván buďto v kapalném nebo stlačeném plynném stavu. Čerpací stanice na vodíkové palivo musí být vybaveny kompresními jednotkami, které stlačí vodík na požadovaný tlak. V praxi jsou využívány pro natankování vodíku dva tlaky, a to buď 350, nebo 700 bar. Tlaky se odvíjí dle typu vozidla. Vozidla spalující vodík využívají ke svému pohonu kapalný vodík podchlazený na -253 °C . Pro vozidla využívající pohon palivovým článkem je využíván stlačený plynný vodík (Linde-Gas, 2021). Elektromobily využívající technologii palivového článku musejí být naplněny vodíkem pod tlakem 700 bar. Stlačený vodík musí být pro účely naplnění nádrže automobilu podchlazen na -40 °C , aby tak nedocházelo k nežádoucímu zahřívání stlačeného plynného vodíku (OMV, 2021). V současnosti elektromobily s palivovým článkem jsou schopny na jednu plnou nádrž ujet více než 600 km. Natankování jedné vodíkové nádrže je v rozmezí od 3 do 5 minut.

2 Specifikace automobilového trhu ve vybraném státě EU

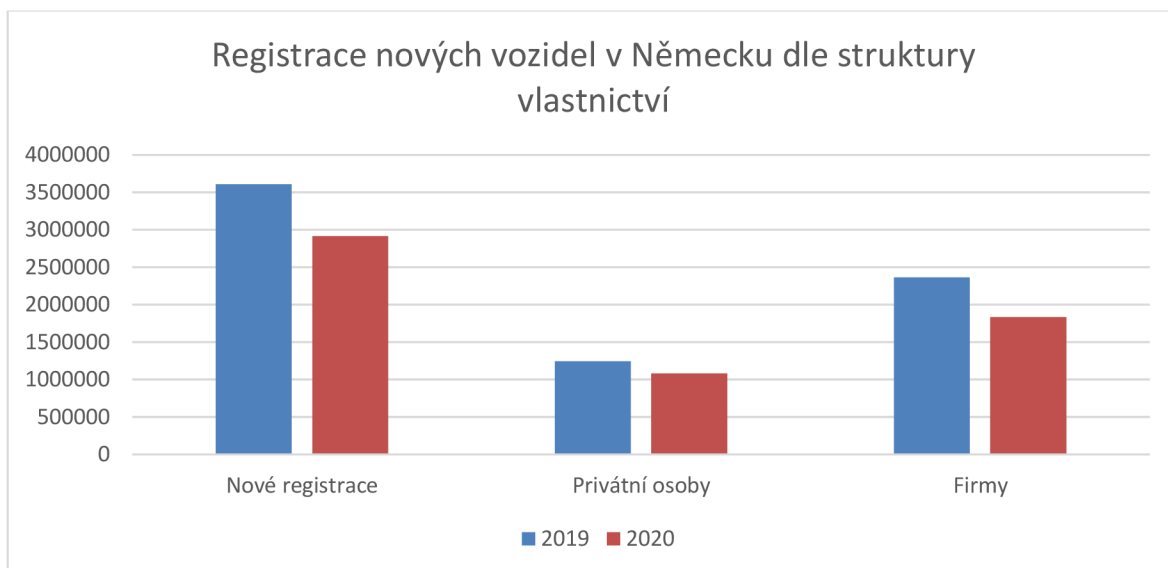
Pro posouzení potenciálu byl vybrán německý trh s osobními automobily. Hlavními důvody pro výběr německého trhu byly velikost, postavení automotive v německém průmyslu a fakt, že automobily na tomto trhu jsou prodávány především ve vyšších výrobních stupních. Německý trh s osobními automobily je největším v Evropské Unii. Spolková republika Německo je parlamentní demokracií (Tatsachen über Deutschland, 2021). Hlavním představitelem je spolkový prezident Frank-Walter Steinmeier, který je ve funkci od roku 2017. Druhým nejvyšším státním představitelem je spolkový kancléř Olaf Scholz, který je ve funkci od roku 2021. Celkově v Německu žije okolo 83 milionů obyvatel (Deutschland, 2020). Obyvatelé Německa jsou zastoupeni v Bundestagu, což je v českých podmínkách poslanecká sněmovna. V Bundestagu je v současnosti 709 volených členů. Druhou komorou parlamentní německé demokracie je Bundesrat, v porovnání s Českou republikou se jedná o senát. Bundesrat je tvořen 69 delegáty, kteří zastupují 16 spolkových států. Největším německým městem je Berlín, což je zároveň i hlavní město. V roce 2020 byl objem importovaného zboží do spolkové republiky Německo v hodnotě 1 266 miliard € (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2021a). Celkový export Spolkové republiky Německo dosáhl výše 1 460 miliard € (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2021a). Z tohoto vyplývá, že země exportovala více zboží či služeb, než se do Německa dovezlo. Do Německa byly importovány především automobily a součástky, výpočetní technika, zařízení na zpracování dat, elektronické a optické výrobky, strojní vybavení, chemikálie a výrobky z nich a v neposlední řadě také ropa a zemní plyn (Deutschland, 2020). To samé zboží hrálo velice významnou roli i v exportu. Největším exportním artiklem byly automobily a součásti, strojní vybavení, výpočetní technika a zařízení zpracovávající data, elektrické a optické výrobky a chemikálie. Největšími a nejdůležitějšími obchodními partnery pro import byla Čína, Nizozemí, USA, Francie a Polsko (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2021a). Pro export je složení obchodních partnerů podobné. Konkrétně se jedná o USA, Francii, Čínu, Nizozemí a Spojené království. HDP v roce 2019 bylo ve výši 3 368 Miliard € (Statistisches Bundesamt, 2021). V přepočtu na jednoho obyvatele HDP dosahuje výše 40 494 €.

Německý automobilový průmysl je největším německým průmyslovým odvětvím a zároveň i evropským lídrem. V roce 2020 výše obratu německého automobilového průmyslu byla 379 miliard € (Germany Trade & Invest, 2021). Jedná se o téměř 20 % příjmů celého německého průmyslu. Německo je největším evropským automobilovým trhem, a to jak z pohledu prvních registrací nových vozidel, tak i z výrobního pohledu. Okolo 75 % v Německu vyrobených osobních automobilů je určeno k exportu. Německo vyrobí téměř 25 % celkového počtu v Evropě vyrobených osobních automobilů (Germany Trade & Invest, 2021). U prvních registrací nových vozidel je situace podobná, kdy v Německu dochází k registraci téměř 20 % v Evropě prvně registrovaných nových automobilů. Téměř každé páté vozidlo, které je celosvětově vyrobené, je se znakem německých automobilek. Celkově se v Německu nachází 42 automobilových výrobních závodů a závodů na výrobu motorů. Maximální kapacita německého automobilového průmyslu v roce 2020 byla větší než jedna třetina potenciální evropské produkční automobilové kapacity. Německé automobilky v roce 2018 zainvestovaly do vývoje a výzkumu 25 miliard €, což odpovídá 35 % celkových německých investic do výzkumu a vývoje. Dalším klíčovým faktorem německého automobilového průmyslu je fakt, že 18 ze 100 nejlepších automobilových dodavatelů jsou německé společnosti. Německý automobilový průmysl v roce 2020 dosáhl nového rekordu, když v daném roce vyexportoval okolo 75 % své roční produkce na zahraniční trhy (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2021b). Jen v roce 2020 německé automobilky vydaly na výzkum a vývoj 44,6 miliard €. Silné postavení automobilového průmyslu v Německu podporuje i fakt, že více než 40 % nových patentů je z automotive. Ve vývoji a výzkumu v celém německém automobilovém odvětví pracuje 120 000 zaměstnanců. V automobilovém odvětví jako takovém v Německu pracovalo 809 000 lidí v roce 2020. Německý automobilový průmysl vyrobil v roce 2020 přibližně 3,5 milionu osobních vozidel. V roce 2019 bylo v Německu vyrobeno přibližně 4,6 milionu osobních vozidel. Meziročně se výroba prodala o téměř 25 %, tedy přibližně o 1,1 milionu. Výpadek produkce byl zapříčiněn pandemií onemocnění COVID-19.

2.1 Analýza německého trhu automobilů v letech 2019 a 2020

Pro bližší pochopení německého trhu bylo nutné porovnat dvě po sobě jdoucí období. Ačkoli rok 2020 byl již ze značné části poznamenán pandemií onemocnění

COVID-19, i přesto jsou patrné určité trendy. Na německém trhu nových osobních automobilů bylo v roce 2019 prodáno 3 607 258 osobních automobilů. Oproti tomu v roce 2020 se německý trh propadl o 689 580 vozů. To odpovídá ročnímu propadu o 19 %. Na německém trhu s novými automobily dominují firmy, které nakupují flotilová vozidla pro své zaměstnance či leasingové společnosti. Podíl na celkových registracích nových automobilů u firem dosahoval 65,5 % v roce 2019. O rok déle, v roce 2020, byl podíl firemních zákazníků na celkovém objemu prodaných vozů okolo 63 %. Meziroční rozdíl ve vlastnictví nových automobilů firmami jsou pouze 2 %, což na první pohled není tak zásadní rozdíl. V roce 2019 nakoupily firmy 2 363 256 osobních automobilů. Německé firmy v roce 2020 nakoupily o 528 477 vozů méně než v roce 2019. To odpovídá ročnímu poklesu o více než 22 %. U privátního vlastnictví došlo rovněž k poklesu prodaných osobních automobilů v období 2019 až 2020, a to přesně o 161 103 osobních automobilů. Meziroční pokles byl téměř 13 %. Celkově si privátní zákazníci v roce 2019 koupili 1 244 002 osobních automobilů. Při porovnání obou vlastnických struktur je patrné, že v roce 2020 kvůli pandemii onemocnění COVID-19 byly více zasaženy firmy než privátní osoby. Procentuálně ve sledovaném období 2020 nedošlo u privátních osob k takovému propadu nákupů nových vozidel jako u firem. Větší propad u firem mohl být spojený s nejistotou ohledně budoucího vývoje pandemie, ale také snahou o minimalizaci investic, a tím zajištění lepší likvidity pro následující období. Zároveň je nutné zmínit, že největší němečtí automobiloví producenti měli zavřené výrobní závody po několik týdnů, čímž nenávratně došlo ke snížení objemu vyrobených a prodaných osobních automobilů. Například značka Volkswagen měla své evropské výrobní závody zavřené přibližně 6 týdnů. (Volkswagen newsroom, 2020) Lze předpokládat, že ostatní výrobci na tom byli podobně a pravděpodobně proto nebylo možné vyrobit dostatečné množství osobních automobilů, aby byla zcela uspokojena tržní poptávka. Kombinace obav z následujícího vývoje pandemie COVID-19 na straně zákazníků a výpadku ve výrobě pravděpodobně zapříčinily pokles prodaných osobních automobilů v období 2020. Na obrázku 7 je znázorněn počet nově registrovaných vozidel na německém trhu v letech 2019 a 2020 dle struktury vlastnictví.

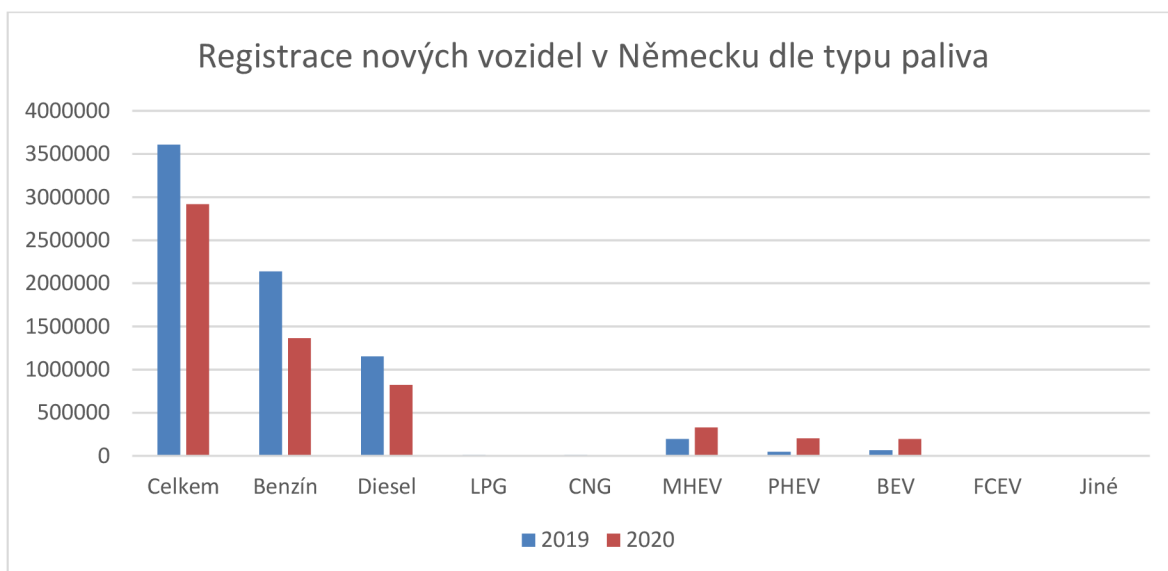


Zdroj: Upraveno dle (Verband der Automobilindustrie, 2021)

Obr. 7 Registrace nových vozidel v Německu dle struktury vlastnictví

V posledních dvou letech na německém trhu silně dominovala vozidla spalující benzín. V roce 2019 benzínový typ pohonu disponoval tržním podílem 59,2 %. V roce 2020 došlo v porovnání s předchozím obdobím k propadu tržního podílu o 12,6 %. Tržní podíl osobních automobilů se vznětovým pohonem byl necelých 31,95 % v roce 2019. Meziroční pokles u naftových vozidel nebyl tak značný jako u benzínových automobilů. U naftových vozidel došlo k propadu o 3,85 %. Zbylé typy pohonů spalující pouze fosilní paliva, tedy bez jakékoli hybridní technologie, měly na trhu zanedbatelný podíl. U zkapalněného ropného plynu (LPG) a stlačeného zemního plynu (CNG) byl tržní podíl menší než 1 % ve sledovaných obdobích. Vozidla na CNG či LPG lze označit za okrajovou záležitost, která na německém trhu nemá budoucnost. Ve sledovaném období lze pozorovat odklon spotřebitelů od klasických typů pohonů. Jedním z hlavních důvodů snížení tržního podílu motorů využívajících pouze fosilní paliva byl kromě onemocnění COVID-19 zvyšující se zájem o alternativní typy pohonů. Oproti všem výše zmíněným pohonům se alternativní pohonné systémy i přes klesající objem nových osobních automobilů ve sledovaných obdobích dokázaly dostat do lepšího podvědomí zákazníků. Vozidla s mild-hybridní technologií dosáhla meziročního nárůstu 68,8 %. Tržní podíl mild-hybridních vozidel se zvýšil o 5,85 % na 11,22 % v roce 2020. Obdobná situace je k pozorování i u vozidel s plug-in hybridním pohonem. Meziroční růst dosáhl výše 342 % v porovnání se základním rokem 2019. I zde

došlo ke zcela významnému zvýšení tržního podílu z 1,25 % na 6,87 %. Bateriové Elektromobily vzrostly bezmála o 206 %. Tržní podíl se zvýšil z 1,75 % na 6,65 %. Co se týče vozidel poháněných palivovým článkem, tak jsou prozatím z hlediska trhu velice okrajovou záležitostí. Nicméně i zde došlo k nárůstu o téměř 50 %. Z vývoje počtu registrovaných osobních automobilů dle typu pohonu je jasné, že získávají na oblibě alternativní typy pohonů. Vozidla na palivový článek jsou na trhu okrajovou záležitostí. Na rozdíl od vozidel na LPG nebo CNG, ale vykazují meziroční růst. Na současném německém trhu je v nabídce dealerů osobních automobilů po zohlednění různých karosářských variant a různých kapacit baterií přes sto sedmdesát modelů bateriových elektromobilů. (ADAC, 2021a) Oproti tomu je nabídka vozidel na palivový článek omezena na 2 modely (H2 Mobility, 2021). Na obrázku 8 je znázorněn počet nově registrovaných osobních automobilů v letech 2019 a 2020 dle typu pohonu.

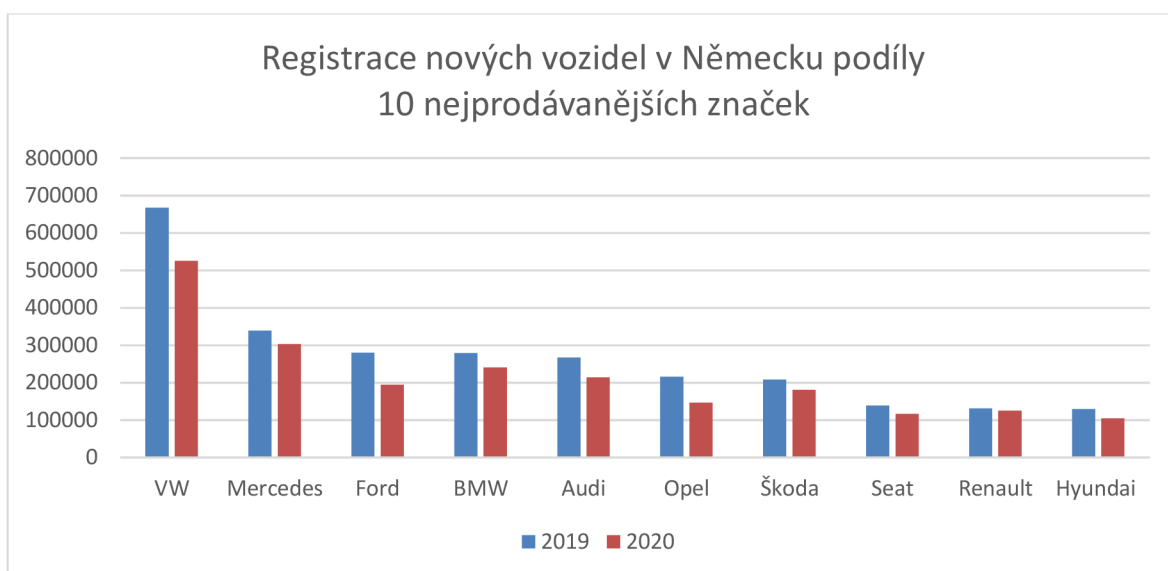


Zdroj: Upraveno dle (Verband der Automobilindustrie, 2021)

Obr. 8 Registrace nových vozidel v Německu dle typu paliva

Nejprodávanější značkou osobních automobilů ve sledovaných obdobích byla značka Volkswagen. V roce 2019 byl tržní podíl značky Volkswagen 18,5 % a o rok déle 18 %. Došlo tedy k propadu o 0,5 %. Na druhém místě v obou letech byla značka Mercedes. Z porovnání tržních podílů v obou sledovaných obdobích je patrné, že došlo k růstu tržního podílu o 1 % z 9,4 % v roce 2019. Třetí nejoblíbenější značkou na trhu v roce 2019 byl Ford. Tržní podíl Fordu se propadl o 1,1 % ze 7,8 % v roce 2019. Jedná se o největší propad z deseti

nejprodávanějších značek na německém trhu. Čtvrtou nejprodávanější značkou na německém trhu v roce 2019 bylo BMW, které se o rok později přesunulo na třetí pozici. Po porovnání tržních podílů v obou sledovaných letech, je zde podobný růst jako v případě Mercedesu. Nárůst tržního podílu byl o 0,6 % ze 7,7 % v roce 2019. Za zmínění stojí český výrobce osobních automobilů značky Škoda. Po porovnání tržních podílů z let 2019 a 2020 je patrné, že značka Škoda zvýšila svůj tržní podíl o 0,4 % z 5,8 % v roce 2019. Z hlediska trhu lze tvrdit, že Němci sázejí především na domácí značky, kdy v prvních 5 nejprodávanějších značkách se nachází pouze jedna zahraniční. Dále na Německém trhu má dominantní postavení koncern Volkswagen, který dosahuje tržního podílu 35,5 %. Na obrázku 9 jsou znázorněny podíly 10 nejprodávanějších značek v Německu v letech 2019 a 2020.



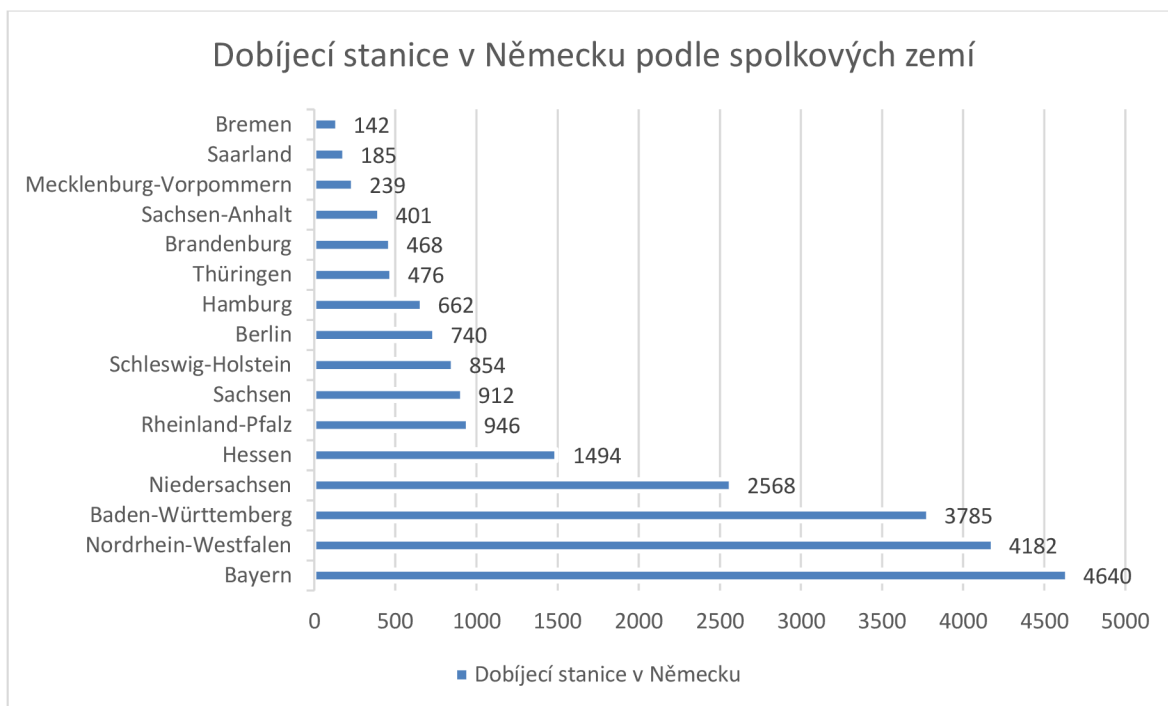
Zdroj: Upraveno dle (Verband der Automobilindustrie, 2021)

Obr. 9 Registrace nových vozidel v Německu - 10 nejprodávanějších značek

2.2 Předpokládaný vývoj německého trhu

Vzhledem k provedené analýze za období 2019 až 2020 lze tvrdit, že osobní automobily se spalovacím pohonem bez jakékoli elektrifikace či hybridizace jsou na ústupu. Naopak oproti tomu mild-hybridní, plug-in hybridní a elektrická vozidla jsou na vzestupu. Dá se předpokládat, že vzhledem k politice Evropské Unie, a i Německa bude podíl alternativních pohonů na prodeji vozidel v následujících letech stoupat. Evropská Unie plánuje zavedení nové emisní normy EU 7. Emisní norma EU 7 značně omezí množství vypouštěných škodlivých látek do ovzduší ze současných spalovacích motorů a bude nutné začít s prodejem většiny množství

automobilů s alternativními typy pohonů. Rozvoj elektromobility v Německu je vzhledem k německé síti nabíjecích stanic více než pravděpodobný. Ke 03.11.2021 bylo ve Spolkové republice Německo 22 694 dobíjecích stanic (Bundesnetzagentur, 2021). Naprostá většina dobíjecích stanic je tvořena normálními běžnými dobíjecími stanicemi v počtu 19 228. Zbytek je tvořen rychlo dobíjecími stanicemi v počtu 3 466. Zajímavým faktem může být to, že v Německu se v roce 2020 nacházelo 14 449 čerpacích stanic. (Mineralölwirtschaftsverband, 2021) Lze tedy předpokládat, že Německo je celkově dobře připraveno na přechod k elektromobilitě. Nejvíce dobíjecích stanic je ve spolkové zemi Bavorsko, kde se nachází 20,45 % dobíjecích stanic. Druhým nejlépe připraveným spolkovým státem na přechod k elektromobilitě v podobě bateriových elektromobilů je Severní Porýní-Vestfálsko s 18,43 % dobíjecích stanic. Následuje Bádensko-Württembersko s 16,68 % německých dobíjecích stanic. První tři spolkové země disponují 55,56 % všech dobíjecích stanic v Německu. Zbýlých 13 spolkových zemí tedy disponuje pouze 44,44 % dobíjecích stanic v Německu. Za zmínění stojí také hlavní město Německa Berlín a druhé největší město Německa Hamburk. V těchto městech se dohromady nachází 6,18 % německých dobíjecích stanic. Posledních 38,26 % dobíjecích stanic připadá na zbylých 11 spolkových států Německa. Lze tedy předpokládat, že dojde k vybudování dalších veřejných dobíjecích stanic v méně vybavených spolkových státech. Díky tomu bude možné bateriové elektromobily a hybridní vozidla nabíjet na více místech, což zvýší využitelnost v praktickém provozu. Díky zvyšujícímu se počtu dobíjecích stanic lze předpokládat zvýšení počtu osobních automobilů s plug-in hybridním či pouze elektrickým typem pohonu. Na obrázku 10 je znázornění počtu dobíjecích stanic pro bateriové elektromobily a plug-in hybridní vozidla podle spolkových zemí.



Zdroj: Upraveno dle (Bundesnetzagentur, 2021)

Obr. 10 Dobíjecí stanice v Německu podle spolkových zemí

Rozvoj elektromobility bude probíhat minimálně do roku 2025, kdy bude ukončena inovační prémie, která zdvojnásobuje německé dotace na elektromobily v obou podobách a na hybridní vozidla, která lze nabíjet ze zásuvky. (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2020a) Základním kamenem dotací na elektromobily v obou podobách je „Umweltbonus“ neboli bonus životního prostředí. Zvýhodnění platí pouze pro soukromé osoby, firmy, nadace, korporace a sdružení, která jsou vlastníkem vozidla. Naopak bez nároku na dotační zvýhodnění jsou veřejně-správní zřízení, jako jsou soudy, armáda, úřady a studentské služby. Předmětem vládních zvýhodnění mohou být pouze vozidla poháněná elektrickým proudem. Mezi zvýhodněná vozidla se řadí bateriové elektromobily, plug-in hybridní vozidla a vozidla na palivový článok. Základním kamenem pro uznání dotace je to, že vozidlo se musí nacházet na seznamu podporovaných vozidel. Základní podmínkou je, že cena bez daní za základní model nesmí přesáhnout 65 000 €. Dotace na plug-in hybridní vozy je nadále omezena tím, že emise CO₂ na km nesmí přesáhnout 50 g. Dále pro získání dotací na plug-in hybridní vozidla je nutné dodržet minimální dojezd pouze na elektřinu, a to do 31. 12. 2021 minimálně 40 km. Mezi 31. 12. 2021 a 1. 1. 2025 je vzdálenost zvýšena na 60 km. A po 1. 1. 2025 už musí být minimální dojezd pouze elektrický

pohon 80 km. Pro zjednodušení jsou bateriové elektromobily a vozidla s palivovým článkem vedena jako elektromobily, jelikož zde nedochází k žádným lokálním emisím. Zajímavé je, že Německo nepodporuje pouze nová vozidla s elektrickými typy pohonů, ale i „mladá ojetá vozidla.“ Zde jsou podmínky přísnější. Vozidlo se musí nacházet na seznamu dotovaných vozidel jako v předchozím případě. Žádost o dotaci musí nastat do jednoho roku od přepisu vozidla na druhého majitele v pořadí. První registrace vozidla musela proběhnout v zemi Evropské Unie, a to po 4. 11. 2019. Vozidlo nemůže být registrováno na prvního majitele déle než 12 měsíců a jeho nájezd nesmí být vyšší než 15 000 km. Pořizovací cena mladého ojetého vozidla nesmí překročit 80 % ceníkové pořizovací ceny nového vozidla v základní konfiguraci. (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2020b) Dotační program zahrnuje i leasingy. Pro získání dotací se leasingy nerozlišují a dotaci je možné dostat jak na finanční tak operativní leasing.

Dotace na nové elektromobily s oběma typy pohonů se pohybují v rozmezí od 1 250 € do 6 000 €. Plné státní podpory je dosaženo při koupi nebo leasingu na dobu delší než 23 měsíců u vozidel do 40 000 € v základní ceníkové ceně. Pro leasingy od 6 do 11 měsíců platí prémie ve výši 1 500 €. Pro leasingy od 12 do 23 měsíců je dotace ve výši 3 000 €. Výše zmíněné dotační částky platí pro vozy do 40 000 €. U vozů v rozmezí 40 000 až 65 000 € ceníkové ceny je dotace menší. Při koupi či leasingu na dobu delší než 23 měsíců je dotace ve výši 5 000 €. Dotace ve výši 1 250 € platí pro leasingy od 6 do 11 měsíců pro vozidla v cenovém rozmezí 40 000 až 65 000 €. Pro leasingy v rozmezí 12 až 23 měsíců u vozů s ceníkovou cenou od 40 000 do 65 000 € je výše dotace 2 500 €. V tabulce 1 lze nalézt přehled dotací pro nově zakoupené elektromobily a vozidla s palivovým článkem.

Tab. 1 Dotační inovační prémie na nové elektromobily a vozidla s palivovým článkem

Cena	Nákup	Leasing	Leasing	Leasing
		6-11 měsíců	12-23 měsíců	> 23 měsíců
<40.000 €	6.000 €	1.500 €	3.000 €	6.000 €
40.000 – 60.000 €	5.000 €	1.250 €	2.500 €	5.000 €

Zdroj: Upraveno dle (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2020b, str. 5)

Dotační program se vztahuje i na plug-in hybridní vozidla. Dělení dotací a kritéria jsou stejná jako v předchozím případě. Dotační sumy se pohybují v rozmezí

od 937,50 € do 4 500 €. Maximální možné dotace je dosaženo při koupi nebo leasingu delším než 23 měsíců pro vozidla do ceníkové ceny 40 000 €. Vozidla spadající do kategorií nákupu či leasingu větším než 23 měsíců jsou dotována 4 500 €. Pro leasingy na dobu od 12 do 23 měsíců platí maximální dotace ve výši 2 250 € v případě vozů do 40 000 €. Pro vozy mezi 40 000 a 65 000 € ceníkové ceny je dotace 1 875 €. Pro vozy na leasing v trvání od 6 do 11 měsíců je maximální dotace 1 250 € pro vozidla do 40 000 €. U vozidel mezi 40 000 € a 65 000 € je možné dostat dotaci ve výši 937,50 € při leasingu od 6 do 11 měsíců. Maximální možná dotace pro plug-in hybridní vozidla v cenovém rozmezí od 40 000 do 65 000 € je při nákupu či leasingu nad 23 měsíců dotace ve výši 3 750 €. V tabulce 2 lze nalézt přehled dotací na plug-in hybridní vozidla.

Tab. 2 Dotační inovační prémie na nová plug-in hybridní vozidla

Cena	Nákup	Leasing	Leasing	Leasing
		6-11 měsíců	12-23 měsíců	> 23 měsíců
<40.000 €	4.500 €	1.125 €	2.250 €	4.500 €
40.000 – 60.000 €	3.750 €	937,50 €	1.875 €	3.750 €

Zdroj: Upraveno dle (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2020b, str. 5)

U mladých ojetých vozidel je situace ohledně dotací jednodušší. Po splnění podmínek mladého ojetého vozidla se dotace liší především dle typu vozidla. V případě elektromobilů v obou podobách je rozmezí dotací od 1 250 € při leasingu nebo koupi od 6 do 11 měsíců až do 5 000 € při době delší 23 měsíců. U vozidel při trvání leasingu od 11 do 23 měsíců je možná výška dotace 2 500 €. U plug-in hybridních vozidel je dotace vždy nižší než v případě bateriových elektromobilů. Spodní hranice dotace ve výši 937,50 € platí pro plug-in hybridy při leasingu od 6 do 11 měsíců. Dotace ve výši 1 875 € platí pro leasingy mladých plug-in hybridů při leasingu od 11 do 23 měsíců. Maximální možné dotace je možné dosáhnout stejně jako ve všech předchozích případech při koupi či leasingu na dobu delší než 23 měsíců. Dotace je pak ve výši 3 750 €. V tabulce 3 lze nalézt přehled dotací na „mladé ojeté“ elektromobily v obou podobách, a plug-in hybridní vozy.

Tab. 3 Dotační inovační prémie na mladé ojeté bateriové elektromobily, vozidla s palivovým článkem a plug-in hybridní vozy

Typ	Nákup	Leasing	Leasing	Leasing
		6-11 měsíců	12-23 měsíců	> 23 měsíců
Elektromobily a vozidla s palivovým článkem	5.000 €	1.250 €	2.500 €	5.000 €
Plug-in hybrid	3.750 €	937,50 €	1.875 €	3.750 €

Zdroj: Upraveno dle (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2020b, str. 5)

Na základě výše zmíněných informací lze usoudit, že v Německu dojde k rozmachu elektromobility v následujících letech. Nebude se ale jednat pouze o bateriové elektromobily, ale i o plug-in hybridy a elektromobily s palivovým článkem. Německé domácnosti a firmy s největší pravděpodobností budou uvažovat o koupi minimálně plug-in hybridních vozidel, jelikož díky nim mohou získat státní podporu na nákup vozidla, a při správném využívání snížit i náklady na pohonné hmoty. Vzhledem k tomu, že největší hustota elektrostanic na nabíjení vozidel je v Bavorsku, Severním Porýní-Vestfálsku a Bádensku-Württembersku lze předpokládat, že bude díky snadně dostupnému nabíjení stoupat podíl minimálně plug-in hybridních vozidel. Dále stojí za zmínku hlavní město Berlín, ale také Hamburk, kdy obě města disponují více jak 600 nabíjecími stanicemi. Lze tedy očekávat, že i v Berlíně a Hamburku dojde k rozmachu elektromobility, a to buď částečnému ve formě plug-in hybridů či úplnému v podobě bateriových elektromobilů.

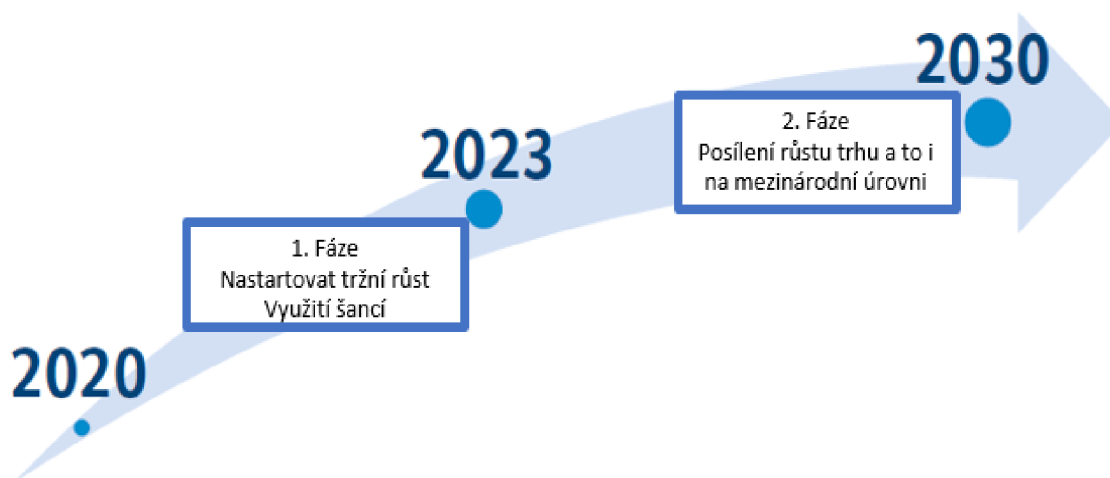
2.3 Plány Německa na podporu vodíkového pohonu

Spolková republika Německo si dala za cíl, že do roku 2030 by se na německých komunikacích mělo pohybovat 7 až 10 milionů elektromobilů. Dosažení cíle počtu elektromobilů podporují různé dotační programy jako inovační prémie a bonus životního prostředí. Ovšem nejedná se o jediné programy na podporu elektromobility. Mezi další podpůrné programy patří daňové úlevy, granty a také zlepšení sítě dobíjecích stanic (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2020). Mezi elektromobily jsou řazena i vozidla na palivový článek, jelikož jsou poháněna elektrickou energií, kterou uchovávají prostřednictvím vodíku namísto bateriových systémů. Pro dosažení cílů Pařížské dohody si Německo

stanovilo za cíl zcela změnit svůj energetický průmysl. V centru pozornosti se ocitl vodík, který dostal za úkol zcela nahradit fosilní paliva dnes využívaná v německém průmyslu (Die Bundesregierung, 2020). Německá vláda si uvědomuje přednosti vodíku, a to především jeho univerzálnost jako nosiče energie. Mezi jeho využití se řadí vozidla na palivový článek a využitelnost jako základu pro syntetická paliva. Vodík je již dnes základní součástí chemického průmyslu například při výrobě čpavku. Díky použití vodíku bude v budoucnu možné dekarbonizovat různé průmyslové procesy. Ukázkovým příkladem je zde využití vodíku namísto koksu pro výrobu oceli. Vše výše zmíněné je plánováno za podmínky využití „zeleného vodíku“. „Zelený vodík“ je vyroben pouze za použití obnovitelných zdrojů energie.

Německo si uvědomilo důležitost vodíku již před více jak 15 lety. V období 2006 až 2016 v rámci Národního inovačního programu byl podpořen vývoj palivových článků v přibližné výši 700 milionů € (Die Bundesregierung, 2020). Plán pro období 2016 až 2026 je do dalšího vývoje vodíkových technologií dostat vládní prostředky ve výši 1,4 miliardy €. Německo neplánuje podpořit pouze vývoj palivových článků. Mezi další podporované aktivity patří vývoj technologií pro získávání „zeleného vodíku“ a implementace vodíkových řešení do reálného života (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2021). Skrze různé dotační programy plánuje německá vláda do vodíku zainvestovat více než 1 miliardu € v období 2020 až 2023. Pro dekarbonizační programy je uvolněna 1 miliarda € z veřejných financí, a to znovu v období 2020 až 2023. Německo počítá s investicí 7 miliard € do vytvoření vodíkového trhu a 2 miliardami na mezinárodní spolupráci při vývoji a implementaci vodíkových řešení pro průmysl. Německo si v současnosti uvědomuje, že pro zvyšující se poptávku po vodíku bude nutné zajistit dostatečné množství „zeleného vodíku“. Vzhledem k omezeným možnostem německého energetického průmyslu na získávání „zeleného elektrického porudu“ bude Německo k přeměně do vodíkové budoucnosti závislé na importu energie v podobě vodíku ze zahraničí (Die Bundesregierung, 2020). Německo si připravilo svojí vodíkovou strategii do roku 2030. Strategie je rozdělena na dvě fáze. První fáze pro období 2020 až 2021 dostala za úkol vytvořit vodíkový trh a především chopit se šancí, které jsou spolu s vodíkovou budoucností spojeny. Následně ve druhé fázi rozvoje vodíkových technologií v období 2023-30 dojde k zesílení již etablovaného vodíkového trhu, a to jak na národní, tak mezinárodní úrovni. Hlavními oblastmi,

na které se Německo ve spojitosti s touto strategií zaměřuje, jsou výroba vodíku, doprava, průmysl, teplo, infrastruktura, výzkum a vývoj, vzdělávání a inovace. Na obrázku 11 je grafické znázornění německé vodíkové strategie.



Zdroj: Upraveno dle (Die Bundesregierung, 2020, str. 17)

Obr. 11 Grafické znázornění vodíkové strategie Německa

V dopravě si Německo vytyčilo několik možností, jak využít vodík (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2021). Německo označuje „zelený vodík“ za ropu budoucnosti. První je využívání vodíku jako alternativy k fosilním palivům, v tomto případě se myslí vozidla na palivový článěk. A druhé je využití vodíku pro výrobu syntetických paliv pro stávající konvenční motory. Syntetická paliva by měla vykazovat menší emise škodlivých plynů než stávající fosilní paliva (Die Bundesregierung, 2020). Německo taktéž plánuje zavést povinné využívání leteckých paliv, kdy při výrobě bude prokazatelně použit „zelený vodík“. Kvóta by se měla pohybovat ve výši 2 % ročně z natankovaných paliv v roce 2030. V této oblasti byly již podniknuty legislativní kroky (Deutsche Energie-Agentur, 2021a). Co se automotive týče, tak německá vláda se chystá dát k dispozici více jak 3,5 miliardy € na podporu alternativních pohonných systémů (Die Bundesregierung, 2020). Německo chce rozpohybovat trh s vodíkovými vozidly skrze dotační program, ve kterém je k dispozici 2,1 miliardy € pro nákup vozidel s elektrickým pohonem. Dále je k dispozici 900 milionů € z dotačního programu pro nákup užitkových vozidel s alternativním pohonem, který je šetrný k životnímu prostředí. Další dotace jsou ve výši 600 milionů € pro nákup autobusů s alternativními pohony. V neposlední řadě je podstatná podpora činností v oblasti výzkumu a vývoje v oblasti snížení nákladů

na produkci vodíku a také na vytvoření vodíkových oblastí, s čímž již bylo započato v roce 2019. Cílem vodíkových oblastí je přicházet s konkrétními řešeními pro implementaci na regionální úrovni. A to například podporou palivového průmyslu a zvýšením podílů paliv vyráběných za použití čisté elektrické energie jako jsou například alternativní syntetická paliva či čistý kerosin. Za tímto účelem je uvolněna další 1 miliarda € do roku 2023. Německá vláda se chystá zainvestovat 2 miliardy € do vybudování výroby vodíku za pomoci elektrolýzy (Nationaler Wasserstoffrat, 2021). Německá vláda do roku 2023 na vybudování této infrastruktury jako jsou nabíjecí a vodíkové plnicí stanice, uvolnila 3,4 miliardy €. Do roku 2030 se německá vláda chystá podpořit výstavbu vodíkových plnicích stanic pro užitková a nákladní vozidla. Německo má v plánu se zasadit na evropské úrovni o vytvoření celoevropské infrastruktury pro vozidla poháněná palivovým článkem. Německo bude podporovat i výstavbu konkurenceschopného prostředí pro produkci palivových článků a komponentů.

Z výše zmíněného vyplývá, že Německo podniká významné kroky k přechodu na elektromobilitu, a to v obou podobách. V obou případech bude podporovat nákup, ať už elektromobilů bateriových, či s palivovým článkem. Německo podniká kroky k rozšíření infrastruktury pro lepší využitelnost obou typů pohonů. Uplatnění vodíku v německém průmyslu a společnosti disponuje značným potenciálem. Skrze různé dotační programy se Německo chystá do vodíku zainvestovat více jak 10 miliard € v nejrůznějších oblastech využití vodíku. Za stěžejní lze označit, že si Německo vytyčilo za cíl etablovat vodíkový trh, který by měl centrálu v Německu, a poté by se rozšířil na celou Evropu a potenciálně skrze mezinárodní spolupráci i na jiné kontinenty. Vzhledem k tomu, že dojde k vybudování plnicích stanic na vodík a také k plánům německých výrobců osobních automobilů jako je Audi, které hodlá uvést na trh elektromobil s palivovým článkem v roce 2025, lze předpokládat, že v té době bude na německém trhu již dostatečně rozvinutá infrastruktura pro vodíková vozidla.

3 Zhodnocení úrovně vodíkového pohonu vůči standardním a alternativním pohonům na základě technických a ekonomických aspektů.

Pro správné posouzení využitelnosti vodíku jako paliva pro osobní automobily budoucnosti bylo nutné provést porovnání se stále používanými spalovacími motory, a to jak vznětovými, tak zážehovými, hybridními pohony a bateriovými pohony automobilů. Každý z použitých způsobů pohonů osobních automobilů disponuje svými výhodami a nevýhodami, a to jak technickými, tak ekonomickými. Jako vodíkový pohon pro porovnání byl zvolen pohon palivovým článkem, jelikož jeho využitelnost je z ekologického hlediska větší než spalování vodíku ve spalovacích motorech. Pro účely porovnání byl jako reprezentant vozidel s palivovým článkem zvolen automobil Toyota Mirai. Toyota Mirai je v současnosti světově nejúspěšnějším vozidlem s palivovým článkem. Toyoty Mirai bylo prodáno na 12 000 ks. Na začátku roku 2021 přišla druhá generace vozidla. (Handelsblatt, 2021) Jako zástupci jiných pohonů byla zvolena vozidla s podobnými technickými parametry a stupni výbav. Do porovnání jako zástupce osobních automobilů se vznětovým a zážehovým motorem byl vybrán Volkswagen Arteon. Z řad plug-in hybridních osobních automobilů byla vybrána Škoda Superb iV. Bateriové elektromobily zastupuje Kia EV6. Porovnávanými technickými parametry byly typ paliva, dojezd, kombinovaná spotřeba, výkon, hmotnost, objem zavazadlového prostoru a počet míst k sezení. Mezi porovnávané ekonomické aspekty byly vybrány pořizovací cena, průměrná cena pohonných hmot za rok 2020 a průměrné náklady na 100 ujetých km. Hlavním a jediným porovnávaným ekologickým aspektem byly lokální emise CO₂ v g/km. Porovnávané vozy jsou vždy 5místné. Na obrázku 12 lze nalézet přehled porovnávaných vozů. Vlevo nahoře se nachází Toyota Mirai a vpravo nahoře Volkswagen Arteon. Pod nimi se nachází Škoda Superb v levo a Kia EV6 vpravo.



Zdroj: (Kia Deutschland, 2021), (Toyota CZ, 2021), (Škoda Auto, 2021a) (Volkswagen Deutschland, 2021)

Obr. 12 Přehled porovnávaných automobilů

V tabulce 4 lze nalézt přehled porovnávaných aspektů v jednotlivých kategoriích.

Tab. 4 Přehled porovnávaných aspektů

Ekonomické aspekty	Technické aspekty	Ekologický aspekt
Pořizovací cena	Palivo	CO ₂ g/km
Cena pohonných hmot	Dojezd	
€/100 km	Spotřeba kombinovaná na 100 km	
	Výkon kW	
	Hmotnost kg	
	Objem zavazadlového prostoru	

3.1 Vodíkový pohon v provedení se spalovacím motorem

Prvním porovnávaným pohonem s pohonem palivovým článkem je konvenční spalovací motor ve Volkswagenu Arteon. Porovnávány byly oba typy motorů, a to jak vznětový, tak zážehový. Volkswagen Arteon byl zvolen kvůli vyhovujícím rozměrům a dalším technickým faktorům a stupni výbavy.

Prvním porovnávaným ekonomickým aspektem je pořizovací cena vozidel. Toyotu s palivovým článkem využívající vodík jako palivo je možné pořídit za 63 900 €.

Oba typy spalovacích motorů, které využívá Volkswagen Arteon jsou značně levnější. Vznětový Volkswagen Arteon ve srovnatelné výbavě lze pořídit za 47 925 € a zážehový za 43 880 €. Rozdíl v případě porovnání Toyoty a vznětového Volkswagenu činí 15 975 €. V případě vznětového Arteonu je rozdíl ještě větší, a to přesně 20 020 €. Nutno zmínit, že pouze na Toyotu se v tomto porovnání vztahuje vládní dotační program, kdy je možné Toyotu zlevnit až o 5 000 €. Po zohlednění vládního dotačního programu na podporu elektrické mobility se rozdíly zmenšily na 10 975 € a 15 020 €. Z porovnání pohonných hmot je patrné, že na měrnou jednotku hmoty je nejdražší Toyota se svým vodíkovým palivem. Vodík stojí 9,5 €/kg. Klasické pohonné hmoty v porovnání na měrnou jednotku se jeví jako levnější. Motorová nafta pro vznětový Volkswagen Arteon se v roce 2020 pohybovala v průměru na 1,111 €/l. Benzín pro zážehovou pohonnou jednotku u Arteonu byl v průměru za 1,255 €/l v roce 2020. Náklady spojené s ujetím 100 km v kombinovaném provozu jsou nejvyšší u benzínového Arteonu, kdy je potřeba pouze na palivo 8,66 €. Druhým nejnákladnějším vozidlem na 100 ujetých km v kombinovaném provozu byla Toyota, kdy bylo potřeba za pohonné hmoty na 100 ujetých kilometrů vydat 8,45 €. Nejlevnějším vozidlem je vznětový Arteon s náklady na pohonné hmoty ve výši 6,31 € na 100 ujetých km. Po porovnání ekonomických aspektů se jako nejlepší volba jeví naftový Volkswagen Arteon následovaný svojí benzínovou variantou. Ačkoli je Toyota na 100 ujetých km levnější než benzínový Arteon, tak by bylo zapotřebí ujet přes 9 milionů km, aby se cenový rozdíl bez zohlednění vládního dotačního programu vynuloval. Pokud by byl zohledněn dotační program, tak by pro smazání cenového rozdílu bylo potřeba ujet více než 7 milionů km.

Prvním porovnávaným technickým aspektem byl dojezd. Z porovnání je patrné, že největším dojezdem disponuje Volkswagen Arteon s naftovým motorem s dojezdem přes 1 200 km. Na druhém místě se nachází Arteon s benzínovým agregátem, kdy na jednu nádrž je schopen ujet přes 900 km. Nejmenším dojezdem na jednu nádrž disponuje Toyota s 650 km. Porovnávaný Arteon s naftovým motorem spotřebuje 5,2 l na 100 km v kombinovaném provozu. Benzínový Arteon na ty samé jízdní podmínky potřebuje 6,9 l pohonných hmot a Toyota 0,79 až 0,89 kg vodíku. Největším výkonem disponuje naftový agregát Arteon se 147 kW. Na druhém místě je benzínová pohoná jednotka Arteonu se 140 kW. Posledním

v porovnání výkonu je Toyota se 134 kW. Dalším porovnávaným technickým aspektem byla hmotnost vozidla. Nejtěžší v porovnání hmotností je Toyota s 1 900 kg. Druhým nejtěžším v porovnání byl Volkswagen Arteon s naftovým motorem o hmotnosti 1 704 kg. Nejlehčím vozidlem bylo benzínové provedení Arteonu s 1 673 kg. Předposledním porovnávaným technickým aspektem byl objem zavazadlového prostoru, kdy se jako prostornější jeví Arteon. Obě varianty Arteonu disponují shodným objemem 563 l zavazadlového prostoru. Z hlediska vypouštěných emisí CO₂ na km je nejlepší Toyota, jelikož při pohánění vozidla s palivovým článkem nedochází k žádným emisím CO₂. Druhým nejekologičtější vozidlem v porovnání byl naftový Arteon se 136 g CO₂/km. Nejvyšších emisí CO₂/km dosahuje benzínový Arteon se 155 g CO₂.

Po srovnání technických a ekonomických aspektů se jako nejlepší volba jeví Volkswagen Arteon s naftovým motorem. A to především díky svým technickým a ekonomickým přednostem. Naftový Volkswagen Arteon je ekonomičtější volbou, jelikož náklady na 100 ujetých kilometrů jsou o více jak 2 € nižší než v případech benzínového Arteonu a vodíkové Toyoty. Pokud by zákazník ovšem hleděl pouze na emise CO₂, tak by jednoznačně zvolil vodíkovou Toyotu Mirai. V tabulce 5 lze nalézt porovnání technických a ekonomických aspektů Toyoty s palivovým článkem a konvenčními automobily Volkswagen Arteon.

Tab. 5 Porovnání Vodíkové Toyoty Mirai s konvenčními Volkswageny Arteon

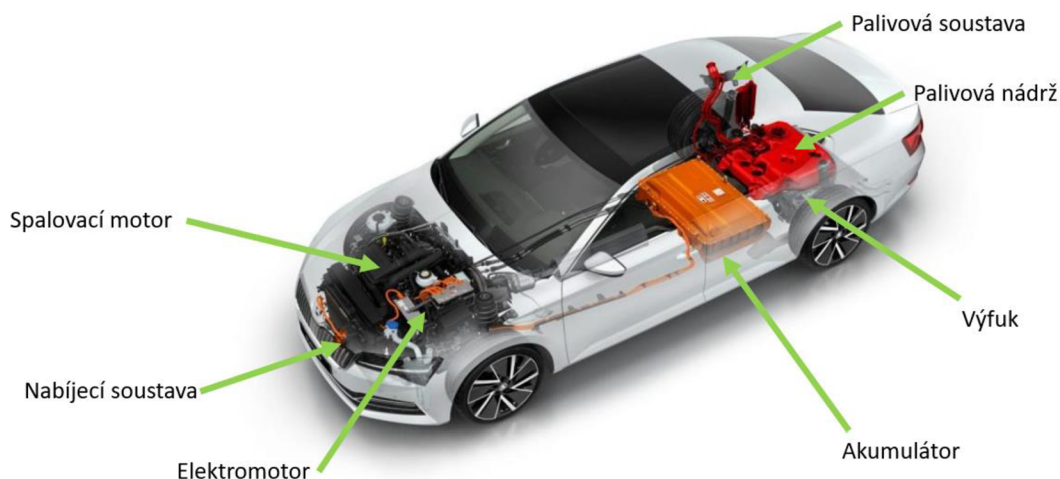
	Toyota Mirai Basis	Volkswagen Arteon Elegance 2.0 TDI	Volkswagen Arteon Elegance 2.0 TSI
Pořizovací cena v €	63 900	47 925	43 880
Cena pohoných hmot v € za l/kg/kWh	9,5	1,111	1,255
€/100 km	8,45	6,31	8,66
Palivo	Vodík	Nafta	Benzín
Dojezd km	650	1269	956
Spotřeba kombinovaná na 100 km	0,89–0,79	5,2	6,9
CO ₂ g/km	0	136	155
Výkon kW	134	147	140
Hmotnost kg	1 900	1704	1673
Objem zavazadlového prostoru v l	321	563	563

Zdroj: Upraveno dle (ADAC, 2021b) (Shell, 2021) (Toyota DE, 2021) (Volkswagen Deutschland, 2021)

3.2 Vodíkový pohon v porovnání s plug-in hybridním pohonem

Plug-in hybridní vozidla též označována jako full hybridy jsou vozidla, která umožňují pouze elektrický pohon nebo kombinaci elektromotoru a konvenčního spalovacího motoru (Pistoia, 2010). Ve své podstatě je fungování plug-in hybridního typu pohonu velice podobné mild hybridním pohonům. Hlavním rozdílem a výhodou je možnost dobíjení akumulátoru z externích zdrojů, jako jsou dobíjecí stanice či klasicky v prostředí domova skrze zásuvku pro elektrické spotřebiče (ADAC, 2021c). Plug-in hybridní typ motoru není vybaven startérem a alternátorem a jejich funkce je nahrazena elektrickým generátorem. Elektromotor pomáhá při rozjezdech a akceleraci. Hlavním úkolem elektromotoru je pohon pouze na elektrickou energii (Hromádka, 2012). V současnosti u plug-in hybridních vozidel je bateriový pohon využíván při rychlostech do 50 km/h. Plug-in hybridní vozidla se vyznačují čistým

dojezdem okolo 70 km na elektrickou pohonnou jednotku (Mercedes-Benz, 2021). Dobíjení akumulátoru je možné i při nižším využití spalovacího motoru jako u mild hybridních pohonů (Hromádka, 2012). Na obrázku 13 je znázorněno rozložení plug-in hybridních vozidel.



Zdroj: Upraveno dle (Škoda Auto, 2021b)

Obr. 13 Schéma automobilu s plug-in hybridním pohonem

Dalším porovnávaným pohonem vůči vodíkovému palivovému článku je plug-in hybridní pohon. Jako v předchozím porovnání byla zvolena Toyota Mirai jako zástupce vozidel s technologií palivového článku využívajícího vodík jako palivo. Za zástupce plug-in hybridních vozů byla zvolena Škoda Superb iV, a to kvůli srovnatelným rozměrům a stupni výbavy. Nejdříve jako v předchozím případě byly porovnávány ekonomické aspekty. Z cenového hlediska je jako v předchozím případě vodíková Toyota jednoznačně dražší než její konkurent. Cenový rozdíl je ve výši 16 970 € bez zohlednění vládních dotací. Cena Toyoty je 63 900 € a cena Škody Superb iV je 46 930 €. Na oba vozy je možné si vzít cenovou dotaci, která cenový rozdíl zmenší. Na Toyotu je možné dosáhnout vyšší výše dotací kvůli absenci spalovacího motoru. Na Toyotu je možné si vzít dotaci až do výše 5 000 €. Na plug-in hybridní Škodu Superb iV je maximální možná výše dotace nižší. Maximální výše dotace na Škoda dosahuje 3 750 €. Po zohlednění vládních dotací se cenový rozdíl může snížit o dalších 1 250 €. Cenový rozdíl by poté dosahoval výše 15 720 €. Pohonné hmoty jsou jako v předchozím porovnání dražší u vodíkové Toyoty. Cena vodíku je 9,5 €/kg. Pro plug-in hybridní Škodu Superb iV pohonné hmoty stály 1,255 €/l za benzín a 0,389 €/kWh. Toyota spotřebuje pro ujetí 100 km

v kombinovaném provozu vodík v hodnotě 8,45€. Škoda Superb při použití spalovacího agregátu pro ujetí stejné vzdálenosti za stejných jízdních podmínek spotřebuje benzín v hodnotě 6,78 €. Při jízdě pouze na elektrické ústrojí Škoda spotřebuje elektrický proud v hodnotě 5,72 €. Ovšem, než Škoda ujede 100 km v kombinovaném provozu na bateriový pohon, musela by alespoň jednou zastavit na nabíjecí stanici a nechat nabít baterii. Z porovnání ekonomických aspektů je patrné, že Škoda Superb iV je ekonomičtější volbou. Hlavními důvody pro Škodu jsou nižší pořizovací cena a nižší nákladovost na 100 ujetých km v kombinovaném provozu.

Po porovnání ekonomických aspektů byly porovnány i vybrané technické parametry. Prvním porovnávaným technickým parametrem byl dojezd. Při porovnání dojezdu je lepší Škoda Superb iV, která disponuje dojezdem na benzínovou pohonnou jednotku 900 km a dalšími 64 km na bateriový pohon. Dohromady je tedy Škoda Superb iV schopna ujet na jedno naplnění nádrže a nabití baterie 964 km. Oproti Škodě maximální dojezd Toyoty je o 314 km nižší. Maximální dojezd Toyoty s palivovým článkem je 650 km. Kombinovaná spotřeba Toyoty je ve výši od 0,79 do 0,89 kg vodíku na 100 km. U Škody je průměrných spotřeb více. Pokud Škoda Superb využívá k pohonu pouze benzínový agregát tak v průměru potřebuje 5,4 l/100 km. Pokud by využívala Škoda pouze bateriový pohon tak by spotřebovala 14,7 kWh/100 km. A pokud by využívala benzínového agregátu ve spojení s bateriovým pohonem tak by škoda v průměru potřebovala pouze 1 l/100 km. To by bylo možné pouze za podmínek plně nabitého akumulátoru a jízdě převážně ve městě, kdy by byl využíván primárně bateriový pohon vozidla. Dalším porovnávaným technickým aspektem byl výkon. Větší systémový výkon má Škoda Superb iV. Celkový výkon Škody je 160 kW a skládá se z výkonu benzínového motoru o 115 kW a elektromotoru s výkonem 85 kW. V součtu Škoda disponuje teoreticky 200 kW. Ale když jsou zapojeny oba druhy pohonu, tak se výkon částečně překrývá, a proto je systémový výkon 160 kW. Toyota disponuje výkonem 134 kW. Výkon Toyoty je tedy o 26 kW menší než srovnatelné Škody Superb iV. Z hlediska hmotnosti se jeví Škoda jako lepší. Škoda se svojí hmotností 1 756 kg je o 144 kg lehčím vozem. Hmotnost Toyoty dosahuje 1 900 kg jako v předchozím případě. Z porovnání maximálního objemu zavazadlového prostoru je patrné, že větším zavazadlovým prostorem disponuje Škoda Superb. Objem zavazadlového prostoru

Škody je 485 l a je tedy o 164 l větší než zavazadlový prostor Toyoty. U emisí CO₂ je jednoznačně menším znečišťovatelem vodíková Toyota, jelikož při jejím provozu nedochází k žádným lokálním emisím CO₂/km. U Škody Superb iV jsou možné tři scénáře emisí CO₂. V prvním případě, kdy Škoda využívá pouze benzínového pohonného systému, tak by emise CO₂ dosahovaly výše 123 g/km. Ve druhém případě, kdy by škoda využívala kombinaci benzínového a bateriového pohonu emise CO₂ dosahují emise výše 23 g/km. V posledním případě, kdy by škoda jezdila pouze ve městě při rychlostech do 50 km/h a měla by plně nabitou baterii a nedošlo by k jejímu vybití, tak emise CO₂ dosahují výše 0 g/km. Z porovnávaných technických a ekologických aspektů je patrné, že vhodnějším vozem z hlediska praktické využitelnosti je Škoda Superb. Ovšem pokud, by zákazník hleděl pouze na ekologickou stránku, tak by si vybral Toyotu, jelikož během svého celého provozu lokálně nevypouští emise CO₂.

Z porovnání ekonomických, technických a ekologických aspektů je patrné, že vhodnějším vozem jak po ekonomické, tak po technické stránce je Škoda Superb. Toyota je vhodnější z hlediska ekologie lokálních emisí. Ovšem, pokud by Škoda Superb byla správně využívána, a tím by tak byly zachovány výhody plug-in hybridního pohonu, tak by i její ekologická stránka byla lepší než v případě konvenčního pohonu. V tabulce 6 lze nalézt technické a ekonomické srovnání Toyoty s plug-in hybridní Škodou Superb iV.

Tab. 6 Porovnání vodíkové Toyoty Mirai s plug-in hybridní Škodou Superb iV

	Toyota Mirai Basis	Škoda Superb iV Style 1.4 TSI
Pořizovací cena v €	63 900	46 930
Cena pohonných hmot v € za l/kg/kWh	9,5	1,255 0,389
€/100 km	8,45	6,78 (benzín) 5,72 (elektrina)
Palivo	Vodík	Benzín + elektrický proud
Dojezd km	650	900 (benzín) 64 (baterie) 964 (benzín + baterie)
Spotřeba kombinovaná na 100 km	0,89–0,79	5,4 1,0 14,7
CO ₂ g/km	0	123 23 0
Výkon v kW	134	160 (115+85)
Hmotnost kg	1 900	1756
Objem zavazadlového prostoru v l	321	485

Zdroj: Upraveno dle (ADAC, 2021a) (Shell, 2021) (Toyota DE, 2021) (ADAC, 2020) (Statista.de, 2021) (Škoda Auto, 2021c)

3.3 Vodíkový pohon v porovnání s bateriovým elektrickým pohonem

Vozidla s bateriovým elektrickým pohonem jsou dalším alternativním způsobem pohonu automobilů. Hlavními charakteristikami jsou prakticky žádné lokální emise škodlivých plynů, nízký hluk, okamžitý nástup výkonu, omezený dojezd, vyšší cena a případně vyšší nebezpečí při havárii (Hromádko, 2012). Vozidlo poháněno tímto typem pohonu zcela nahradilo konvenční spalovací motor bateriemi a elektromotorem (Pistoia, 2010). K dobíjení takového vozidla je využito systémů k přeměně kinetické energie při brzdění na elektronickou, která je uložena

v akumulátorech pro pozdější využití či externích zdrojích jako v případě plug-in hybridních vozidel (Deutsche Energie-Agentur, 2021b). Hlavním problémem takovýchto systémů je v současnosti hmotnost litium-iontových baterií využitých pro uskladnění energie. Lithium-iontové baterie se vyznačují vysokou energetickou a výkonovou hustotou. Uskladněná energie na kg se pohybuje v rozmezí 120 až 130 Wh (Hromádko, 2012). Životnost takovýchto baterií je zhruba 1 000 dobíjecích cyklů, než začne značně ztrácet kapacitu. Jedním z problémů je závislost na venkovních teplotách v rozmezí 5 až 30 °C, kdy mimo rozmezí dochází ke snížení kapacity baterií. Problém snížené kapacity baterií byl vyřešen přidáním teplotní pojistky, která v případě poklesu či nárůstu teplot v baterii začne baterii buďto zahřívat nebo ochlazovat, aby bylo dosaženo zachování maximální možné kapacity. Na obrázku 14 je znázorněno rozložení bateriového automobilu.



Zdroj: Upraveno dle (Škoda auto, 2020)

Obr. 14 Schéma automobilu s bateriovým pohonem

Posledními porovnávaným typem pohovů vůči vozidlu s palivovým článkem je bateriový pohon. Jako v předchozích případech je pohon palivovým článkem zastupován Toyotou Mirai. Elektromobily s bateriovým pohonem v tomto porovnání zastupuje Kia EV6, která vyhovovala nejvíce po technické a výbavové stránce. Prvním porovnávaným ekonomickým aspektem byla cena. Kia EV6 s bateriovým pohonem stojí v odpovídající konfiguraci 46 580 €. Oproti tomu Toyota s palivovým článkem je o 17 320 € dražší a stojí 63 900 €. Cena pohonných hmot na ujetí 100 km v kombinovaném provozu je u Toyoty 8,45 € a u bateriové Kii 6,45 €. Průměrné ceny vodíku v roce 2020 byly 9,5 €/kg a elektrického proudu v dobíjecích stanicích

0,389€/kWh. Na obě vozidla si je možné vzít státní dotaci, a to až do výše 5 000 €, a to v závislosti, jestli je vozidlo zakoupeno či pronajato na leasing. Z porovnání ekonomických aspektů v současnosti se jako ekonomičtější volba jeví Kia EV6 s bateriovým pohonem. Ve všech porovnávaných aspektech je Kia levnější než Toyota.

Prvním porovnávaným technickým parametrem byl maximální možný dojezd. Větší maximální dojezd nabízí Toyota s 650 km na jednu plnou nádrž vodíku. Oproti tomu Kia s bateriovým pohonem ujede pouhých 394 km v kombinovaném provozu. Kia ujede na jedno nabití o 256 km v kombinovaném provozu méně. Dalším porovnávaným aspektem je kombinovaná spotřeba na 100 ujetých km. Kia pro ujetí 100 km v kombinovaném provozu potřebuje 16,6 kWh elektrické energie. Což představuje okolo jedné čtvrtiny maximální bateriové kapacity. U Toyoty je pro ujetí 100 km v kombinovaném provozu potřeba od 0,79 do 0,89 kg vodíku což odpovídá téměř jedné šestině maximální kapacity nádrže. Třetím porovnávaným technickým aspektem je výkon motoru. Toyota disponuje výkonem 134 kW, což je o 9 kW více než v případě Kii. Maximální výkon u Kii dosahuje 125 kW. Dalším aspektem v porovnání byla hmotnost automobilů. Z porovnání hmotností se jeví jako lehčí automobil Kia s hmotností 1 800 kg. Kia je tedy o 100 kg lehčí než porovnávaná Toyota Mirai s 1 900 kg. Pátým porovnávaným aspektem byl objem zavazadlového prostoru. Zde se jako prostornější jeví Kia s objemem zavazadlového prostoru ve výši 572 l, a tím pádem převyšuje Toyotu o 251 l. Z ekologických aspektů byly porovnávány pouze emise CO₂/km. Vzhledem k tomu, že oba vozy jsou poháněny skrze elektromotory jen za využití jiných zdrojů energie, tak oba automobily mají nulové lokální emise CO₂. Z celkového porovnání technických aspektů pro běžné každodenní používání je Kia EV6 vhodnější, jelikož převyšuje Toyotu Mirai prakticky ve všech porovnávaných aspektech. Jedinými technickými výhodami Toyoty jsou její maximální dojezd a výkon.

Z celkového porovnání ekonomických a technických aspektů je Kia výhodnější. Její pořizovací cena je v současnosti nižší než u Toyoty s technologií palivového článku. Zároveň se jeví šetněji, i co se nákladů na energie pro 100 ujetých km týče. Skoro ve všech porovnávaných technických aspektech je situace stejná. Kia jednoznačně převyšuje Toyotu v maximální kapacitě zavazadlového prostoru. Oproti tomu má Toyota značnou výhodu v maximálním dojezdu a zároveň disponuje

větším výkonem. V ostatních porovnávaných aspektech je Kia výhodnějším vozem. V tabulce 7 lze nalézt porovnání technických a ekonomických aspektů mezi Toyotu s palivovým článkem a bateriovou Kiou EV6.

Tab. 7 Porovnání vodíkové Toyoty Mirai s bateriovou Kiou EV6

	Toyota Mirai	Kia EV6
	Basis	
Pořizovací cena v €	63 900	46 580
Cena pohoných hmot v € za l/kg/kWh	9,5	0,389
€/100 km	8,45	6,45
Palivo	Vodík	Elektrický proud
Dojezd km	650	394
Spotřeba kombinovaná na 100 km v l/kg/kWh	0,89–0,79	16,6
CO ₂ g/km	0	0
Výkon v kW	134	125
Hmotnost kg	1 900	1800
Objem zavazadlového prostoru v l	321	572
Místa k sezení	5	5

Zdroj: Upraveno dle (Toyota DE, 2021) (ADAC, 2020) (Statista.de, 2021) (Kia Deutschland, 2021)

4 Posouzení tržního potenciálu vodíkových automobilů na Německém trhu

Pro posouzení potenciálu vodíkového pohonu na německém trhu byla zvolena SWOT analýza tržního prostředí. Tato analýza patří již dlouhodobě k nejzákladnějším a nejpoužívanějším marketingovým nástrojům (Sarsby, 2016). Skládá se z vnitřních a vnějších stránek. Mezi vnitřní stránky řadíme silné a slabé stránky a mezi vnější stránky řadíme příležitosti a možné hrozby. Hlavními výhodami jsou srozumitelnost a univerzálnost. Po provedení SWOT analýzy bylo nutné stanovit technické a ekonomické předpoklady pro aplikaci vodíkového pohonu na německém trhu. Celkově má vodík značný potenciál na prosazení do každodenního života, a to ať už v energetickém, či dopravním průmyslu (Mc Kinsey, 2017).

4.1 SWOT analýza

Silné stránky jsou první oblastí provedené analýzy. Mezi přednosti vodíkového pohonu patří především žádné přímé emise při provozu vozidla, jelikož vozidla využívající technologii palivového článku nespalují palivo, ale pomocí chemické reakce za účasti oxidačního činidla přeměňují vodík na vodu, a tím získávají energii. Jediný odpad z pohonu vozidel s palivovým článkem je pouze voda. Druhou výhodou je větší dojezd než v případě bateriových elektromobilů. U porovnávaných vozidel byl rozdíl v maximálním dojezdu více než 250 km na jednu nádrž nebo nabití baterie ve prospěch vozidel využívajících vodíkového pohonu. Další nespornou výhodou vodíkových elektromobilů je rychlost naplnění nádrže. Ve srovnání s konvenčními pohonnými ústrojími se jedná o prakticky stejnou dobu. Zde se výhoda projevuje ve srovnání s bateriovými elektromobily. Vodíkové elektromobily je možné natankovat během 5 minut. Oproti tomu doba nabíjení baterie Kia EV6 je 18 minut při použití rychlo nabíjecí stanice na 80 % kapacity baterie (Kia Deutschland, 2021). Další silnou stránkou je to, že se jedná o novou technologii, která je navíc ekologicky orientovaná. Vzhledem k tlaku německé vlády na dekarbonizaci průmyslu se jedná o možnost, jak snížit emise CO₂ z automotive a dopravy obecně. Zároveň mezi lidmi jsou takzvaní inovátoři, kteří chtějí kupovat nové technologie hned, jak jsou dostupné na trhu. To by mohlo napomoci rychlému rozšíření takto poháněných elektromobilů. Předposlední výhodou elektromobilů

s technologií palivového článku je okamžitá reakce na pedál akceleračního, kdy ve srovnání s konvenčními typy pohonů dochází k okamžitému nástupu výkonu jako u vozidel s bateriovým pohonem. Poslední výhodou elektromobilů s palivovým článkem je odolnost vůči klimatickým podmínkám. Ve srovnání s bateriovými elektromobily zde nedochází ke snížení dojezdu při velmi vysokých nebo nízkých teplotách. Zároveň není potřeba udržovat baterii v ideální provozní teplotě, jako je tomu u bateriových elektromobilů.

Druhou částí provedené analýzy byly slabé stránky vodíkového pohonu. První slabinou vodíkového pohonu na současném německém trhu je značně omezená nabídka. V současnosti jsou k dispozici pouze dva modely využívající k pohonu palivový článek. V porovnání s více rozšířenou nabídkou elektromobilů jde o značnou slabinu. Oba pohony jsou ekologické, ale v současnosti je mezi výrobcí a spotřebiteli více zavedený bateriový pohon, a to díky větší nabídce. Druhou slabinou, která úzce souvisí s předešlou slabinou, je pořizovací cena elektromobilů s palivovým článkem. Ve srovnání s ostatními typy pohonů, ať už klasickými, či alternativními je pořizovací cena značně vyšší. Vysoká pořizovací cena může odradit potenciální zákazníky. Další slabinou vodíkového pohonu je cena vodíkového paliva. V případě pořizovací ceny elektromobilů, a i v případě ceny vodíkového paliva, lze předpokládat snížení s tím, jak bude docházet k rozšiřování elektromobilů s pohonem palivovým článkem. Posledními slabými stránkami jsou nízká propagace a znalost technologie pohonu palivovým článkem. Ve srovnání s bateriovými elektromobily je propagace ve své podstatě prakticky nulová.

Třetí oblastí SWOT analýzy jsou příležitosti. První příležitostí z hlediska trhu jako takového může být využití komunálního odpadu pro výrobu vodíku. Při použití odpadu pro výrobu vodíku by docházelo k druhotnému pozitivnímu vlivu na společnost, a to k tomu, že by nebylo potřeba tolik skládek nebo spaloven na odpad. Tím by došlo k snížení emisí CO₂ ze spaloven, a i ke snížení ekologického dopadu lidské činnosti. Dynamický rozvoj na poli technologie a využití palivových článků lze taktéž označit za příležitost. Jako u většiny technologií by díky rozšíření a pokračujícímu vývoji mělo dojít ke snížení nákladů na palivový článek a ke zvýšení jeho efektivity. To samé může být aplikováno na distribuci, díky čemuž by se tento druh mobility mohl stát levnější než bateriové elektromobily. Nespornou příležitostí až výhodou je nevyčerpatelnost zdrojů vodíku, kdy hlavním zdrojem

v současnosti je voda. Zároveň je možné zpracovat komunální či průmyslový odpad, čímž dochází k druhotným pozitivním ekologickým účinkům. Další příležitostí, která hovoří pro pohon palivovým článkem, je německá vodíková strategie. Vzhledem ke strategii Německa lze očekávat i snížení ceny vodíku, jelikož by Německo mělo stát v čele evropské transformace k „vodíkové společnosti“. V současnosti se v Evropě nachází na 130 čerpacích stanic na vodíkové palivo (H2 Mobility, 2022). Ze 130 se 91 nachází v Německu. A dalších 17 je v současnosti ve výstavbě na německém trhu. Na obrázku 15 je znázorněno rozložení čerpacích stanic na vodíkové palivo v Evropě. V bílém kolečku jsou čerpací stanice v provozu a v modrém kolečku jsou vodíkové čerpací stanice ve výstavbě.



Zdroj: (H2 Mobility, 2022)

Obr. 15 Rozložení vodíkových stanic v Evropě

Zároveň lze očekávat i zvýšení cenové dostupnosti vodíkových elektromobilů s tím, jak začnou být i v nabídce dalších výrobců, a hlavně díky nestálému vývoji v technologii palivových článků. Za příležitost lze považovat rozšiřující se nabídku modelů, které budou využívat technologii palivového článku. S rozšířením nabídky

modelů by mělo dojít k tomu, že privátní osoby a firmy začnou častěji kupovat vozidla s technologií palivového článku. Předěšlé tvrzení je podpořeno faktem, že berlínští hasiči a policisté již mají k dispozici vodíkové elektromobily na palivový článek. Poslední dvě příležitosti jsou dostatečná kupní síla německého trhu a dotační program na elektromobilitu ve všech podobách. Kombinace zmíněných dvou faktorů poskytuje vozidlům s palivovým článkem dostatečnou konkurenční výhodu na to, aby mohlo dojít k prosazení na trhu.

Poslední analyzovanou částí jsou potenciální hrozby, které by mohly zabránit rozšíření elektromobilů s palivovým článkem. První a z hlediska trhu i největší hrozbou jsou jiné alternativní pohony. Při zvážení politického tlaku na bez-emisní dopravu je jediným konkurentem bateriový elektromobil. Ten je v současnosti i více rozšířen než vodíkové elektromobily a je více propagován. To jsou hlavní důvody, proč ho lze označit za největší hrozbu. Druhou hrozbou z hlediska trhu může být odmítání změny při pořizování nových automobilů potažmo elektromobilů s technologií palivového článku, a to především kvůli obavám o bezpečnost při havárii. Jedním z nejvíce rozšířených mýtů v oblasti bezpečnosti palivových článků využívajících vodík jako palivo je obava, že při nehodě dojde k explozi přepravovaného vodíku v elektromobilu. Dalšími hrozbami jsou přetrvávající vysoká cena vodíkového paliva a nedostatečně rychlé snižování pořizovací ceny elektromobilu s palivovým článkem. Pokud v budoucnu nedojde ke snížení ceny v obou kategoriích, bude pro vodíkový pohon velmi těžké se prosadit. Zvláště potom, pokud zároveň dojde ke snížení ceny bateriových elektromobilů a nebude se razantně zvyšovat cena dobíjení na nabíjecích stanicích potažmo cena elektrického proudu jako takového. Další skupinou hrozeb jsou prvky infrastruktury. Pokud nedojde k rozvoji v oblasti výroby a distribuce vodíku pro elektromobily, bude využití vodíkových automobilů omezené více než u bateriových elektromobilů. Ačkoli dojezd vodíkových automobilů je větší než u bateriových elektromobilů, tak by díky velice omezené distribuční síti bylo praktické využití vodíkového pohonu pro standardního zákazníka skoro až nemožné. Řidič vodíkového elektromobilu by musel plánovat své cesty důkladněji než řidič bateriového elektromobilu. Předposlední hrozbou, kterou je nutné vyřešit, je účinnost přenosu uskladněné energie ve vodíkovém palivu. Ztráty během procesu výroby, skladování a přepravy vodíku jsou značně vyšší než při přenosu elektrického proudu pro dobíjení baterií

elektromobilů. Zde bude nutný další vývoj, aby se zachovala smysluplnost vodíkového paliva. Poslední hrozbou a problémem je ekologičnost výroby vodíku. V současnosti je výroba vodíku velice energeticky náročná. Zde by pro praktické využití vodíku jako paliva budoucnosti muselo dojít k zachování základního předpokladu elektromobility jako takové. Základním předpokladem pro snížení emisí z dopravy je ekologická výroba elektrického proudu. Ekologická výroba elektrického proudu platí jak pro bateriové elektromobily, tak pro výrobu vodíku.

Z provedené SWOT analýzy vyplývá, že silné stránky převyšují slabé stránky vodíkového pohonu. Dále lze zmínit, že vodíkový elektromobil kombinuje přednosti konvenčních typů pohonů s přednostmi bateriových elektromobilů. U slabých stránek se jedná ve své podstatě o ty samé nevýhody jako u bateriových elektromobilů. Největším problémem obou typů pohonů pro elektromobily je omezená nabídka. V případě bateriového typu pohonu se jedná především o vozy vyšší střední třídy a výše anebo naopak malé městské automobily. V případě pohonu palivovým článkem se jedná pouze o dva modely, což je z hlediska trhu zanedbatelné. V oblasti příležitostí je situace obdobná. Zde je hlavní příležitostí, která je s tímto typem pohonu spojená, možnost likvidace komunálního a průmyslového odpadu pro výrobu vodíku. Zbylé příležitosti a hrozby jsou více méně podobné jako u bateriových elektromobilů. Specifikem je zde účinnost přenosu uskladněné energie ve vodíkovém palivu. V tabulce 8 lze nalézt přehled jednotlivých aspektů vyplývajících z analýzy SWOT.

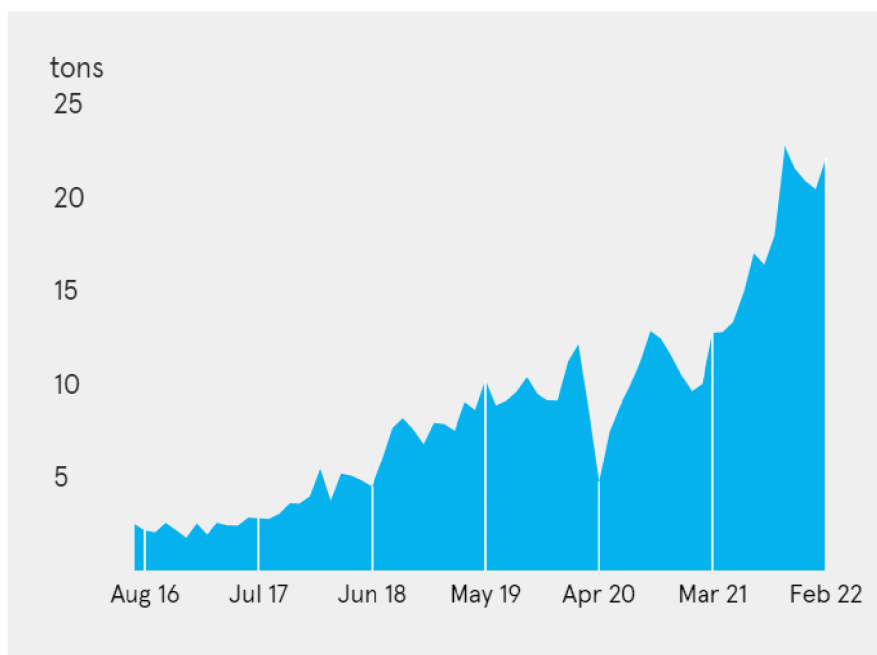
Tab. 8 SWOT analýza

Silné stránky	Slabé stránky
Žádné přímé emise	Velice limitovaný počet modelů
Větší dojezd než BEV	Pořizovací cena
Rychlé tankování	Cena vodíku
Nová technologie	Nízká propagace
Okamžitý výkon	Nízká znalost technologie
Odolnost vůči klimatickým podmínkám	
Příležitosti	Hrozby
Likvidace odpadů při výrobě vodíku	Jiné alternativní pohony
Dynamický rozvoj	Odmítání změny
Nevyčerpatelné zdroje vodíku	Přetrvávající vysoká cena vodíku
Vytvoření nových pracovních míst	Nedostatečné rychlé snižování pořizovací ceny
Snížení ceny vodíku	Nedostatečná rozvinutost distribuční sítě
Zvyšující se počet čerpacích stanic na vodíkové palivo	Účinnost přenosu
Zvýšená cenová dostupnost	Ekologičnost výroby
Rozšiřující se nabídka modelů	
Dostatečná kupní síla	
Dotační program	

4.2 Technologická připravenost německého trhu

Pro posouzení a stanovení nutných předpokladů pro aplikaci elektromobilů s palivovým článkem využívajících vodík jako palivo bylo nutné provést analýzu technologické připravenosti Německa. Prvním faktorem pro elektromobily s palivovým článkem jsou čerpací stanice na vodíkové palivo. Druhým faktorem jsou výrobní zařízení a distribuce, aby bylo dosaženo pokrytí potřeby trhu po vodíkovém palivu. Dalším důležitým faktorem pro současnou a budoucí technickou připravenost Německa jsou plánované projekty pro rozvoj výroby, průmyslového využití a distribuce vodíku. V Německu v posledních 5 letech došlo ke zvýšení

spotřeby vodíku pro provoz elektromobilů, a to 5násobně. Vzhledem podpoře elektromobilů s palivovým článkem lze předpokládat, že poptávka po vodíkovém palivu pro elektromobily bude mít vzrůstající tendenci. Pro zajištění dostatečného množství vodíku bude nutné vybudovat dodatečná výrobní zařízení. Na obrázku 16 je zobrazen vývoj poptávky po vodíkovém palivu pro elektromobily.

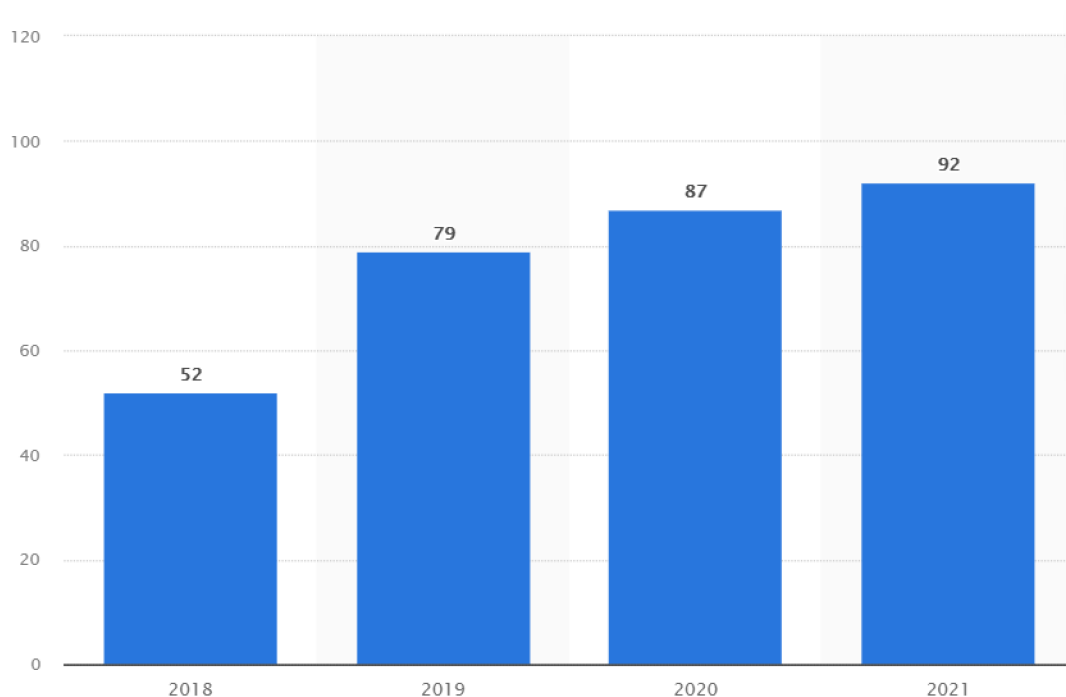


(Based on the fuel stations operated by H2 MOBILITY.)

Zdroj: (H2 Mobility, 2022)

Obr. 16 Vývoj poptávky po vodíkovém palivu pro elektromobily

Německo je z hlediska Evropy zemí s nejvíce rozšířenou sítí čerpacích stanic na vodíkové palivo. V současné době se na německém území nachází 91 čerpacích stanic na vodíkové palivo. V posledních 5 letech vzrostl počet čerpacích stanic na vodíkové palivo v Německu o 75 %. K současným čerpacím stanicím na vodíkové palivo přibude v blízké době dalších 17, u kterých je již buď započatá stavba, nebo probíhá zkušební provoz. Rozdíl mezi rokem 2021 a únorem 2022 v počtu vodíkových stanic je způsoben uzavřením jedné čerpací stanice na vodíkové palivo. Lze předpokládat, že v budoucnosti dojde k rozšíření sítě čerpacích stanic na vodíkové palivo i do méně rozvinutých oblastí Německa. Vzhledem ke státní podpoře elektromobilů s palivovým článkem lze předpokládat, že distribuční síť bude brzy nedostatečná a bude nutné jí kontinuálně rozšiřovat. Na obrázku 17 je zobrazen vývoj počtu čerpacích stanic na vodíkové palivo v Německu v období 2018-2021.

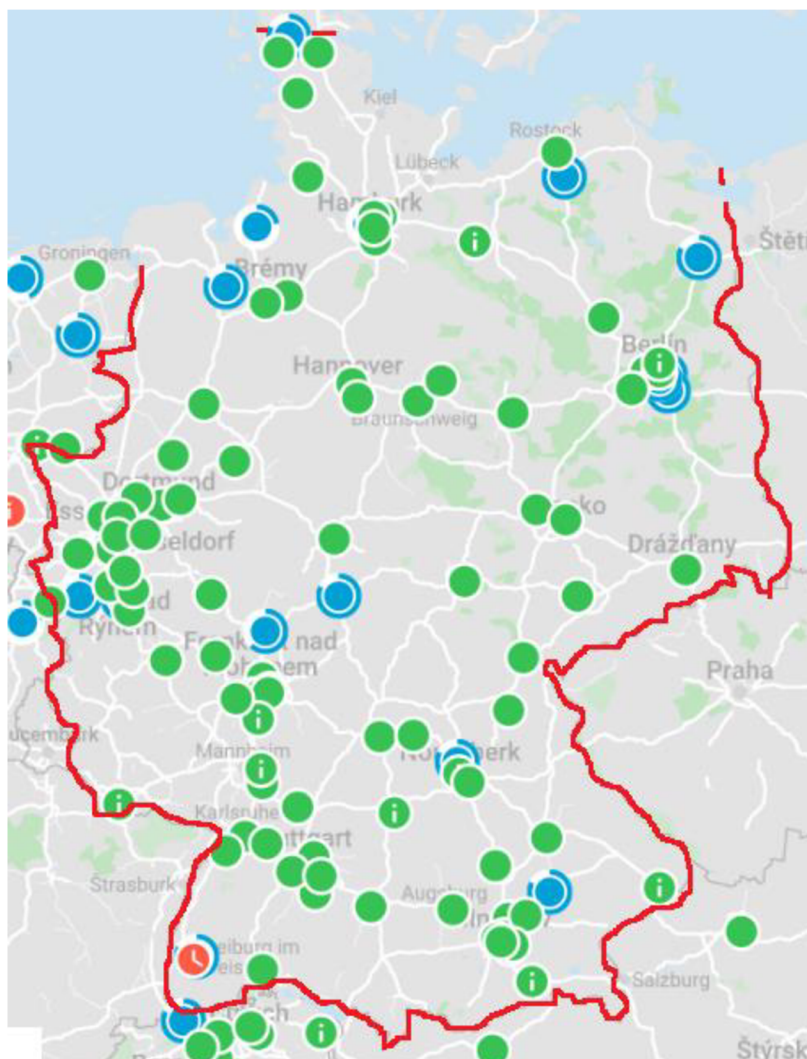


Zdroj: (Statista.de, 2021a)

Obr. 17 Vývoj počtu čerpacích stanic na vodíkové palivo v období 2018-2021

Rozmístění čerpacích stanic na vodíkové palivo odpovídá rozmístění dobíjecích stanic pro bateriové elektromobily. Naprostá většina se nachází v okolí velkých měst Německa. Zajímavým faktem může být to, že 20 čerpacích stanic na vodíkové palivo se nachází v okolí Mnichova a Stuttgartu. V těchto městech sídlí dvě významné německé automobilky, a to BMW v Mnichově a Porsche AG ve Stuttgartu. Naproti tomu ve Wolfsburgu, kde má sídlo značka Volkswagen, se nachází pouze jedna čerpací stanice na vodíkové palivo. To samé platí i v případě Ingolstadtu, kde má sídlo Audi. Vzhledem k přítomnosti BMW a Audi v Bavorsku, lze zde očekávat rozvoj čerpacích stanic na vodíkové palivo. V Severním Porýní a Vestfálsku se nachází dalších 18 čerpacích stanic na vodíkové palivo. Značný počet čerpacích stanic se nachází v největších městech Německa, a to v Berlíně a v Hamburku. V Berlíně se nachází 7 čerpacích stanic na vodíkové palivo a v Hamburku 5. Z rozmístění vodíkových čerpacích stanic na vodíkové palivo je pozorovatelný stejný trend jako u dobíjecích stanic pro elektromobily. Nejvíce rozvinuté spolkové státy disponují většinou vodíkových stanic i dobíjecích stanic. Na obrázku 18 je zobrazeno rozmístění vodíkových čerpacích stanic na vodíkové palivo v Německu. Zeleně jsou vyznačené čerpací stanice na vodíkové palivo, které

jsou v provozu, modře které jsou ve výstavbě či zkušebním provozu a oranžově čerpací stanice na vodíkové palivo, které jsou momentálně mimo provoz.



Zdroj: Upraveno dle (H2 Mobility, 2022)

Obr. 18 Rozmístění čerpacích stanic na vodíkové palivo v Německu

Německo v současnosti podporuje 62 projektů, které jsou zaměřeny na využití vodíku v každodenním životě (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2021). Z těchto šedesáti dvou projektů je 19 zaměřeno na produkci (tmavě zelené body na obrázku 19). Další 15 na rozšíření infrastruktury včetně vybudování „vodíkovodu“ (světle zelené body a černé úsečky na obrázku 19). Pro průmyslové využití vodíku je podporováno 16 projektů (světle modré body na obrázku 19), a to především v chemickém, energetickém a hutním průmyslu. Z hlediska mobility je podporováno 12 projektů (černé body na obrázku 19), a to především pro výzkum

a vývoj, a využití v dopravě a přepravě osob a materiálu. Na obrázku 19 je zobrazeno rozmístění podporovaných vodíkových projektů v Německu.



Zdroj: (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2021)

Obr. 19 Rozmístění podporovaných projektů v Německu

Z významných firem na německém území se technologiemi pro výrobu a distribuci vodíku zaměřují například společnosti Shell Deutschland GmbH (dále jen Shell Deutschland), RWE Aktiengesellschaft, ThyssenKrupp AG (dále jen ThyssenKrupp) a Siemens Energy AG (dále jen Siemens Energy). Společnost Shell Deutschland ve spolupráci s ITM power, SINTEF, SPHERA a Element energy v roce 2021 otevřela největší výrobní zařízení na „zelený vodík“ v Evropě pod názvem REFHYNE (Shell in Deutschland, 2021). Výrobní zařízení má kapacitu produkce až 1 300 tun „zeleného vodíku“ ročně. Zařízení produkuje vodík pomocí elektrolýzy a nachází se v Chemicals Park Rheinland v blízkosti Kolína nad Rýnem. V současné době sdružení společností provozujících výrobní zařízení REFHYNE plánuje započít výstavbu dalšího 10x většího výrobního zařízení pro potřeby pokrytí německé,

potażmo evropské poptávky po vodíku. Společnost Shell Deutschland má v plánu uzavřít vybrané rafinerie do roku 2030, díky čemuž sníží svou celosvětovou produkci fosilních paliv společnosti o 55 %. Uzavřené rafinerie budou přetransformovány na chemické a energetické parky. Z plánů společnosti Shell Deutschland lze usuzovat, že vodík bude v budoucnosti velice důležitou součástí mobility. Společnost RWE Aktiengesellschaft podporuje nebo je součástí více projektů, které mají zvýšit dostupnost a využití vodíku za účelem snížení emisí CO₂ (RWE, 2022). Mezi hlavní podporované projekty společnosti RWE Aktiengesellschaft se řadí GET H2 Nukleus, AquaVentus, H2 Brunsbüttel, Eemshydrogen a FUREC-projekt. Cílem projektu GET H2 Nukles je vybudování zařízení na elektrolýzu o výkonu 100 MW a upravení současného plynovodu ze zemního plynu na vodík. Projekt AquaVentus je zaměřen na využití větrných elektráren umístěných na moři pro produkci vodíku pomocí elektrolýzy. Do roku 2035 by měla být k dispozici zařízení v severním moři o výkonu 10 GW, která by měla ročně vyprodukovat až 1 milion tun „zeleného vodíku“. Projekt H2 Brunsbüttel je zaměřen na možnost dovážet vodík pomocí lodí a přístavní infrastruktury pro zkapalněný zemní plyn (LNG). Projekt Eemshydrogen je zaměřen na vybudování elektrolyzního zařízení o výkonu 50 MW, které bude poháněno „zelenou energií“ z větrných elektráren v Nizozemí. Projekt FUREC je ze všech nejzajímavější. Projekt bude využívat odpadu jako zdroje pro výrobu vodíku, čímž zároveň dojde k druhotnému zlepšení životního prostředí, jelikož bude zpracován odpad, který by jinak skončil na skládkách. Společnost Siemens Energy má již v současnosti široké portfolio produktů a služeb spojených s vodíkovými řešeními (Siemens Energy, 2022). Společnost se zabývá vývojem a implementací vodíkových technologií do průmyslu. Jedná se především o zařízení produkce, skladování, distribuce a re-elektrifikace vodíkového paliva. Společnosti ThyssenKrupp a Siemens Energy se věnují vývoji a implementaci zařízení využívajícího elektrolýzu pro produkci „zeleného vodíku“ (ThyssenKrupp, 2022). Například v Saudské Arábii má společnost ThyssenKrupp vybudovat zařízení využívající elektrolýzu pro produkci „zeleného vodíku“ o výkonu 2 GW (ThyssenKrupp, 2021).

Z hlediska technologické připravenosti je Německo na správné cestě k přechodu k „vodíkové společnosti“. Německo má nejlépe rozvinutou vodíkovou distribuční síť v Evropě. Disponuje dostatečnou kapacitou výrobních zařízení pro pokrytí domácí

poptávky po vodíku pro pohon elektromobilů. Zároveň se v Německu nacházejí technologické a energetické firmy, které se zabývají výzkumem a vývojem zařízení pro produkci „zeleného vodíku“ a jeho průmyslovém využití. Velice důležitá je zde podpora vlády, které podporuje všechny oblasti nutné pro přechod k „vodíkové společnosti“.

4.3 Nutné předpoklady aplikace do reálného provozu

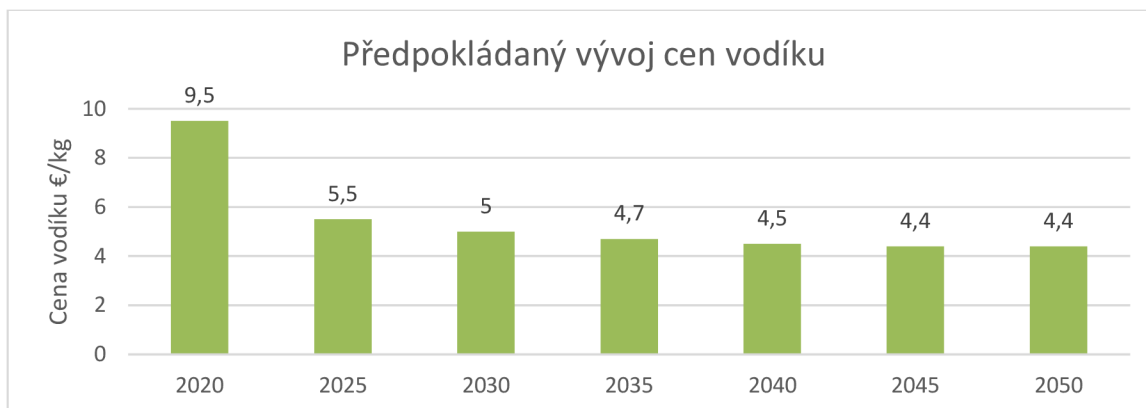
Pro smysluplnost využití vodíku pro pohon elektromobilů s palivovým článkem bude nutné dodržet několik základních předpokladů, bez kterých by elektromobily s palivovým článkem využívající vodíkového paliva neměly z hlediska ekonomických a ekologických aspektů žádný smysl. Prvním předpokladem je, že vodík pro pohon elektromobilů s palivovým článkem bude vyráběn pouze při využití obnovitelných zdrojů elektrické energie. Pro první předpoklad je zároveň nutné celkové rozšíření stávající infrastruktury v oblastech produkce a distribuce vodíku, ale i pro produkci „zelené energie“. Třetím předpokladem je snížení celkových nákladů vodíkových technologií, vodíku samotného, a i elektromobilů s palivovým článkem. Dalším předpokladem je, že dojde k rozšíření současné nabídky modelů elektromobilů s palivovým článkem. Posledním předpokladem pro aplikaci do reálného provozu je udržení konkurenční výhody oproti bateriovým elektromobilům.

První a druhý předpoklad jsou spolu úzce spojeny. Pro produkci „zeleného vodíku“ bude potřebné rozšíření infrastruktury především v oblastech energetiky a distribuce. Pro ekologickou výrobu vodíku bude zapotřebí zajištění dostatečného množství „zeleného elektrického proudu“. Proto bude nutné rozšířit stávající síť obnovitelných zdrojů elektrické energie. V Německu bude zapotřebí zvýšit výkon fotovoltaických, větrných a vodních elektráren, a to nejenom kvůli výrobě vodíku, ale i kvůli strategii Evropské Unie na snížení emisí z energetického průmyslu. Dále bude nutné z hlediska infrastruktury zajistit dostatečnou výrobní kapacitu pro vodík. Zde je vhodným příkladem elektrolyzní zařízení REFHYNE od společnosti Shell Deutschland (Shell in Deutschland, 2021). Pro zajištění dostatečné dostupnosti vodíkového paliva pro elektromobily s palivovým článkem bude zapotřebí rozšířit distribuční síť. V roce 2020 bylo na německém území 14 091 čerpacích stanic na fosilní paliva (ADAC, 2021d). Pokud by alespoň polovina z nich byla v následujícím desetiletí dovybavena stojany s vodíkovým palivem, byl by to startovací bod

pro masové rozšíření vodíkové mobility. Ve srovnání se sítí dobíjecích stanic pro bateriové elektromobily nebude zapotřebí tak hustá síť čerpacích stanic na vodíkové palivo. Ve své podstatě by bylo možné přizpůsobit stávající čerpací stanice, a tím by nemuselo docházet k budování nových stanic na zelených plochách. Tím by opět došlo ke snížení dopadu na životní prostředí. Do roku 2023 by v Německu mělo být vybudováno 400 vodíkových čerpacích stanic na vodíkové palivo (Roland Berger Consulting, 2020). Daný cíl 400 čerpacích stanic na vodíkové palivo pravděpodobně nebude splněn. Do roku 2030 by mělo být v Německu k dispozici na 1 000 vodíkových čerpacích stanic na vodíkové palivo (Fraunhofer, 2019). Pro účely distribuce k čerpacím stanicím by bylo vhodné, kdyby došlo k vybudování dodatečné větve „vodíkovodu“. Díky „vodíkovodu“ by mohl být vodík dopravován pomocí potrubí do distribučních center, odkud by vodík byl rozvážen na jednotlivé čerpací stanice. „Vodíkovod“ by snížil dopady na životní prostředí a ekonomické náklady na distribuci vodíku k čerpacím stanicím.

Třetím předpokladem je nutné snížení ceny vodíkových technologií. Pro ekonomickou aplikaci elektromobilů s palivovým článkem na vodíkové palivo bude nutné, aby došlo ke snížení ceny infrastruktury, technologie palivového článku i vodíkového paliva. V minulosti lze nalézt několik příkladů kdy při zavádění nových technologií na trh je stanovena vysoká cena, a tím i exkluzivita dané technologie. Stejným procesem si v minulosti prošly i osobní automobily. Z historického hlediska nebyl nákup osobního automobilu záležitostí široké veřejnosti. Stejný trend platí u nových technologií dodnes. Lze předpokládat, že v blízké budoucnosti dojde ke snížení ceny výrobních zařízení na vodík s tím, jak bude docházet k rozšiřování v celém světě. Díky snížení nákladů na produkci vodíku by proto mělo dojít i ke snížení ceny za vodík. Fakt, že s rostoucí nabídkou a zároveň i poptávkou dochází ke snížení ceny, podporuje předpokládaný odhad cen vodíku, kdy v období 2020 až 2050 by měla cena vodíku klesnout o 54 %. Největší snížení ceny vodíku o 43 % se očekává do roku 2025. Vzhledem k velice omezenému počtu modelů elektromobilů s palivovým článkem je momentálně cena i ve srovnání s bateriovými ekvivalenty vysoká. Proto bude nutné, aby pořizovací klesla alespoň na hranici srovnatelných bateriových elektromobilů. Pokud bude cena konkurenceschopná, bude výhodnější uvažovat o koupi elektromobilů

s palivovým článkem vzhledem k přednostem než o koupi bateriového ekvivalentu. Na obrázku 20 je zobrazen předpokládaný vývoj cen vodíku v Evropské Unii.



Zdroj: (H2 Mobility, 2022), (Clean Hydrogen Partnership, 2022)

Obr. 20 Předpokládaný vývoj cen vodíku v Evropské Unii v období 2020-2050

Čtvrtým předpokladem je, že dojde k rozšíření nabídky elektromobilů s palivovým článkem využívající vodíkového paliva. Nicméně během období 2025-2030 přijdou na trh minimálně další dva vodíkové modely. Prvním z nich je Audi h-tron a druhým prozatím blíže nespecifikované BMW (Audi, 2021) (BMW Group, 2021). Vzhledem k dominanci německých značek na tamním trhu lze předpokládat, že po uvedení německých vodíkových elektromobilů dojde k výraznému zvýšení tržního podílu. Rozšíření nabídky modelů elektromobilů s palivovým článkem bude nezbytné pro oslovení většího počtu potenciálních zákazníků. Bude důležité, aby nabídka elektromobilů s palivovým článkem odpovídala rozsahem bateriovým elektromobilům. Pro některé zákazníky nebude vhodná koupě bateriového elektromobilu, a právě pro ně bude důležité, aby na trhu byla alternativa. V současnosti je vodíková mobilita záležitostí především prémiovějších vozů, což je limitující faktor. V budoucnosti bude důležité, aby se nabídka rozšířila i do nižších tržních segmentů. V tržním segmentu malých městských vozidel budou pravděpodobně dominovat bateriové elektromobily. Vhodnějšími segmenty, kde by mělo dojít k rozšíření nabídky vodíkových elektromobilů, jsou tedy vozy nižší střední třídy a výše. Vzhledem k současnému trendu odklonění od konvenčních paliv v Evropské unii a Německu disponují elektromobily s palivovým článkem dostatečným prostorem pro uvedení nových modelů ve stěžejních segmentech nižší až vyšší střední třídy.

Posledním předpokladem je udržení konkurenční výhody oproti bateriovým elektromobilům. Pro úspěch na trhu bude nutné, aby došlo k udržení konkurenčních výhod právě oproti největším konkurentům v podobě bateriových elektromobilů. Delší dojezd a neproměnlivost energie uskladněné ve vodíku může hrát v budoucnu zásadní roli, především pokud budou automobily trávit spoustu času v kolonách. Řidiči a cestující tím budou mít k dispozici více času, jelikož nebude nutné tak často dobíjet nebo plnit nádrž. Druhou konkurenční výhodou je odolnost vůči klimatickým podmínkám. Druhá konkurenční výhoda může v budoucnu hrát zásadní roli.

Za dodržení všech 5 předpokladů lze očekávat, že v následujících desetiletích dojde k rozšíření vodíkové elektromobility. Na prvních třech předpokladech se již v Německu v dnešní době pracuje, a to jak na straně firem, tak na straně vlády. Lze tedy očekávat, že brzy dojde k naplnění a elektromobily s palivovým článkem se stanou více konkurenceschopné. Ke zvyšování nabídky vodíkových elektromobilů bude pravděpodobně docházet velice pomalu, jako tomu bylo v případě bateriových elektromobilů. Výrobci, kteří přijdou s novými modely s palivovým článkem, by se měli zaměřit především na zákazníky vyšší střední třídy a výše. Až ve druhé vlně by se měli zaměřit na segmenty níže jako v případě bateriové elektromobility. Z hlediska udržení konkurenční výhody lze očekávat, že bude vzrůstat i dojezd bateriových elektromobilů. Mezitím však může dojít ke zvýšení účinnosti palivového článku a přenosu energie ve vodíkovém elektromobilu. Zároveň lze očekávat i pokrok v konstrukci vodíkových nádrží elektromobilů, čímž dojde k zachování konkurenční výhody. Pro zdůraznění důležitosti byly jednotlivé předpoklady rozříděny dle typu na ekologické, ekonomické a technologické. V dalším kroku byla přiřazena důležitost a časový horizont. Škála důležitosti byla uvedena od 1 do 5, kdy nejdůležitější předpoklad byl ohodnocen 1 a nejméně důležitý předpoklad 5. Přehled předpokladů pro aplikaci elektromobilů s palivovým článkem je uveden v tabulce 9.

Tab. 9 Předpoklady pro aplikaci elektromobilů s palivovým článkem do reálného provozu

Předpoklad	Typ	Důležitost	Horizont
Výroba pouze za využití obnovitelných zdrojů energie	Ekologický	4	kontinuálně
Rozšíření vodíkové infrastruktury	Technologický	3	2020-2050
Snížení nákladů technologie	Ekonomický	1	2025 až 2050
Rozšíření nabídky modelů	Ekonomický	2	2025 až 2040
Udržení konkurenční výhody	Ekonomický	5	kontinuálně

4.4 Tržní potenciál elektromobilů s palivovým článkem

Elektromobily s palivovým článkem lze označit za inovaci taženou udržitelností. Daný typ inovací byl ze začátku tažen především touhou společností po lepším image u široké veřejnosti. Dnes jsou inovace tažené udržitelností již ve druhé fázi, kdy jsou ve své podstatě vynuceny změnami legislativy (Bessant & Tidd, 2019). Důležitými kritérii pro úspěch inovace jsou produktová výhoda, znalost trhu, jasná definice produktu, znalost rizik, zdroje, odbornost provedení, a podpora managementu. Dalšími faktory úspěchu jsou kompatibilita, jednoduchost, možnost zkoušky a pozorovatelnost (Cook, 2016). U nových produktů a inovací si firma musí klást základní otázku, a to, jak se nová zákaznická očekávání odrazí v kontextu firmy (Dumitrescu a kol., 2015). Pro zodpovězení dané základní otázky jsou k dispozici tři osy adaptace. Konkrétně se jedná o zralost trendu, lokalitu a průmysl. Při uvádění nových elektromobilů s palivovým článkem budou na trhu tři typy společností. Společnosti se budou dělit na „prvonasaditele“, rychlé následovníky a následovatele (Cook, 2016). První typ společností se vyznačuje vysokými náklady na výzkum a vývoj a jedná se o nejrizikovější strategii, jelikož trh musí být vytvořen. Druhý typ společností využívá poučení z chyb prvonasaditele a má tak nižší náklady na vývoj a výzkum, zároveň vstupuje na již zavedený trh. Třetí typ společností u svých výrobků napodobuje první dva typy a díky nižším nákladům a již zavedené technologii nabízejí velice podobné, ale levnější produkty.

Pro stanovení tržního potenciálu bylo nutné zanalyzovat jednotlivá kritéria úspěchu. Prvním kritériem je produktová neboli konkurenční výhoda. Hlavními výhodami elektromobilů s palivovým článkem oproti bateriovým elektromobilům jsou větší

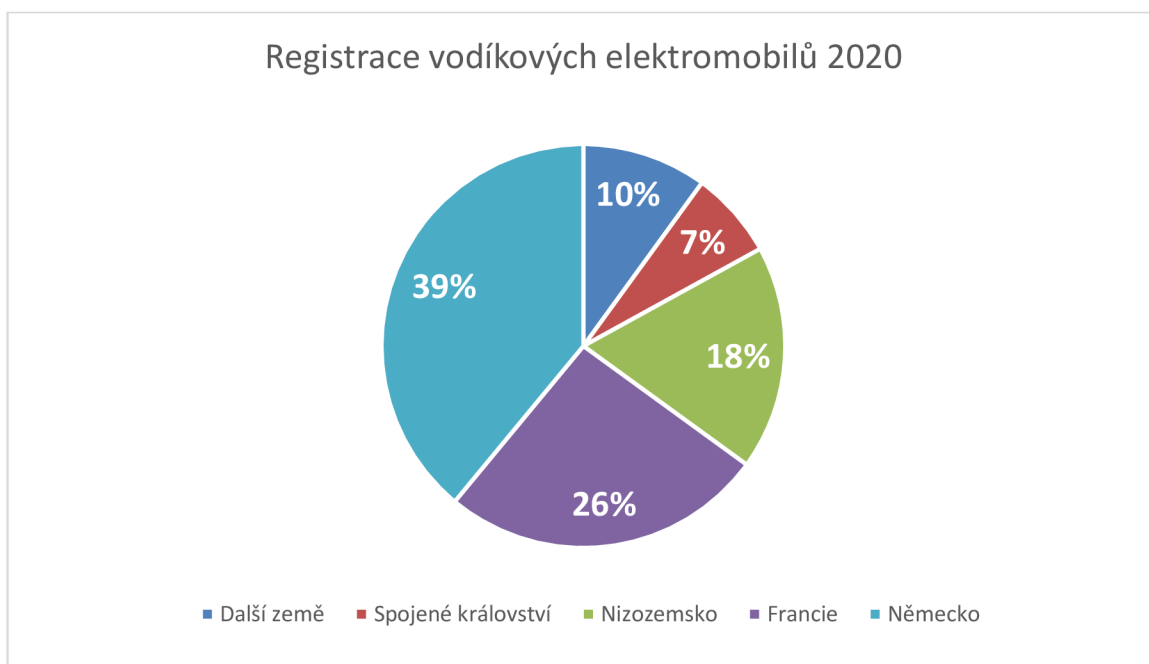
dojezd, odolnost vůči klimatickým podmínkám a rychlost naplnění nádrže. Elektromobily s palivovým článkem budou vhodné pro zákazníky, kteří preferují větší dojezd a menší čas plnění nádrže (World Energy Council, 2019). Elektromobily s palivovým článkem disponují výhodami, které budou pro skupinu zákazníků hrát značnou roli. Mezi skupinu zákazníků, kteří budou při nákupu tyto výhody vyhledávat, lze zařadit například taxi služby, poskytovatele sdílené mobility, složky integrovaného záchranného systému, firmy a do určité míry i privátní osoby. Elektromobily s palivovým článkem budou dominovat především u zákazníků, u kterých bude denní nájezd převyšovat 500 km (Hydrogen Council, 2020). Druhým kritériem je znalost trhu. Vzhledem k faktu, že německý trh se odklání od konvenčních pohonů a přechází k alternativním typům pohonů, lze tvrdit, že výrobci automobilů tamní trh znají. Tvrzení je podpořeno faktem, že v posledních několika letech došlo k výraznému rozšíření nabídky osobních automobilů s alternativními pohony. Především domácí značky jako Volkswagen, Audi, BMW a Mercedes-Benz, které na trhu dominují, mají dostatečnou znalost tamního trhu. Třetím kritériem úspěchu je jasná definice produktu. Elektromobily s palivovým článkem splňují třetí kritérium úspěchu. Jedná se o bez-emisní typ dopravy, který má oproti bateriovým elektromobilům řadu výhod. Lze je označit za alternativu k bateriovým elektromobilům. Čtvrtým kritériem úspěchu inovace je znalost daných rizik. Vzhledem k faktu, že Evropská unie směřuje k bez-emisní mobilitě tak legislativní rizika jsou prakticky eliminována. U tržních rizik je situace složitější. V současnosti jsou elektromobily s palivovým článkem drahou a okrajovou záležitostí. Ovšem pokud domácí výrobci přijdou se svými modely a dojde tak k rozšíření nabídky, lze očekávat nárůst tržního podílu elektromobilů s palivovým článkem. Pátým kritériem úspěchu inovací jsou dostupné zdroje. V dostupnosti zdrojů pro elektromobily s palivovým článkem v Německu již byly podniknuty kroky. V současnosti dochází k rozšiřování kapacit výroby vodíku a distribuční sítě, státní podpoře na výzkum a vývoj vodíkových technologií a následné implementaci do reálného provozu. Na německém trhu tedy bude k dispozici dostatek finančních prostředků pro další vývoj vodíkových technologií, ale i rozšiřování infrastruktury. Šestým kritériem úspěchu inovací je odbornost provedení. Vzhledem k tomu, že výrobci jako Toyota a Hyundai Motor Company (dále jen Hyundai) už mají s elektromobily s palivovými články největší zkušenosti, tak i provedení bude na vysoké úrovni. Pro nové výrobce v oblasti elektromobilů s palivovými články jako

Audi či BMW bude šesté kritérium výzvou. Nicméně, jedná se o německé společnosti, které patří k nejstarším v automotive. Z hlediska konstrukce vozu samotného nebude problém v odbornosti provedení. Problematická může být technologie palivového článku, ale vzhledem k vysoké úrovni německého průmyslu a vládním podporám je riziko minimální. Sedmým kritériem úspěšnosti je podpora managementu. Podpora z nejvyšších úrovní managementu jednotlivých výrobců bude pro elektromobily s palivovým článkem stěžejní, a proto by měli dostat stejnou podporu nejvyššího managementu jako v případě bateriových elektromobilů. Nejsilnější podporu má Toyota Mirai, a to především proto, že se jedná o jediné a zcela bez-emisní vozidlo od Toyoty. Toyota sází budoucnost bez-emisní mobility pouze na elektromobily s palivovým článkem. Osmým kritériem úspěchu inovací je kompatibilita. Zde se jedná především o kompatibilitu inovace se společenskými problémy. Ochrana životního prostředí se v posledních několika letech stala hlavním celosvětovým tématem. Vzhledem k tomu, že ochrana životního prostředí se stává nedílnou součástí každodenního života standardních zákazníků, lze tvrdit, že z hlediska kompatibility se u elektromobilů s palivovým článkem žádný problém nevyskytuje. Devátým kritériem úspěchu inovací je jednoduchost. Elektromobily s palivovým článkem jsou uživatelsky jednodušší. Nejde jen o princip naplnění nádrže, ale i o dobu strávenou na čerpacích nebo dobíjecích stanicích. Desátým kritériem úspěchu inovací je možnost zkoušky. Možnost vyzkoušet si předváděcí vozidlo u jednotlivých dealerů je v sektoru automotive dnes jasnou samozřejmostí. Do budoucna nelze počítat s omezením testovacích jízd, jelikož možnost vyzkoušet si osobní automobil před závěrečnou koupí je dnes zcela běžnou záležitostí. Posledním kritériem úspěchu inovací je pozorovatelnost. Jak bude docházet k rozšiřování nabídky elektromobilů s palivovým článkem, a tím pádem i prodejů, bude daleko jednodušší a častější daný typ elektromobilu potkat. Před několika lety bylo prakticky nemožné potkat bateriový elektromobil. Dnes oproti tomu je již zcela běžné potkat na komunikacích bateriový elektromobil. Zvýšení pozorovatelnosti bateriových elektromobilů bylo zapříčiněno zvýšenou dostupností a rozšířenou nabídkou modelů. Stejný trend lze očekávat i u elektromobilů s palivovým článkem. Pro zodpovězení základní otázky u inovací bylo nutné posoudit tři osy adaptace. První osou je zralost dané inovace, a to, zda na trh přichází příliš pozdě nebo naopak příliš brzy (Dumitrescu a kol., 2015). Z hlediska zralosti vodíkových

elektromobilů se jedná o správné načasování. V Německu se zpřísňují zákony pro vypouštění škodlivých emisí z osobních automobilů. A v současnosti jediná možnost, jak dosáhnout cíle bez-emisní mobility do roku 2050, jsou elektromobily. Z tohoto pohledu mají vodíkové elektromobily správné načasování. Druhou osou adaptace je výběr správné lokality se zohledněním příležitostí. Pro vodíkové elektromobily je Evropa a potažmo pouze Německo správnou lokalitou k rychlému tržnímu prosazení. Z hlediska Evropy je Německo správným trhem, kde by rozšiřování vodíkových elektromobilů mělo začít. Jedná se o největší evropský trh s novými automobily a zároveň disponuje nejvíce rozšířenou vodíkovou infrastrukturou v Evropě. Zároveň německá vláda poskytuje dotace pro nákup nových vodíkových elektromobilů. Na Německém trhu panují správné podmínky a je zde mnoho příležitostí pro rozšíření vodíkových elektromobilů. Poslední osou jsou příležitosti v daném průmyslu. Společnosti jako Toyota, Hyundai, Audi a BMW již podnikly první kroky k rozšíření svých nabídek o elektromobily s palivovým článkem a brzy budou následovat další. Díky elektromobilům s palivovým článkem nebude v budoucnosti mobilita závislá pouze na bateriových elektromobilech a bude k nim vždy alternativa, která disponuje řadou výhod.

Za typ společností prvonosaditele lze označit Toyotu a Hyundai. V segmentu osobních automobilů na německém trhu se jedná o jediné společnosti, které nabízejí elektromobil s pohonem palivovým článkem. Za rychlé následovníky ve stejném segmentu lze označit společnosti Audi a BMW, které mají uvést modely elektromobilů s palivovým článkem v období 2025 až 2030. Za poslední typ společností, které budou hrát významnou roli při rozšiřování elektromobilů s palivovým článkem lze označit méně prémiové až spíše mainstreamové výrobce. Mezi následovatele se budou pravděpodobně řadit společnosti koncernu Volkswagen AG, a to především díky dostupné technologii od jiné koncernové značky Audi jako Volkswagen samotný, Škoda a Seat. Z asijských výrobců lze díky spolupráci s Hyundaiem očekávat, že se sem zařadí i Kia Motors Corporation. U skupiny BMW lze očekávat stejný trend. Z hlediska typu společností lze očekávat, že do roku 2050 bude na trhu dostatek výrobců, a tím pádem i dostatek modelů elektromobilů s palivovým článkem. Díky rozšířené nabídce modelů dojde ke zvýšení prodeje elektromobilů s palivovým článkem.

Německo je z hlediska Evropy největším trhem s vodíkovými elektromobily. Ze všech prodaných elektromobilů s palivovým článkem celých 39 % bylo registrováno v Německu. Celých 65 % všech nově registrovaných elektromobilů s palivovým článkem v Evropě bylo registrováno v Německu a Francii dohromady. Jmenované dva trhy budou v budoucnu hrát důležitou roli při rozšiřování vodíkové mobility. Lze očekávat, že zmíněný trend zvyšujících se registrací nových elektromobilů s palivovým článkem bude pokračovat i v nadcházejících letech. Na obrázku 21 je zobrazen podíl zemí s největším počtem nově registrovaných elektromobilů s palivovým článkem.

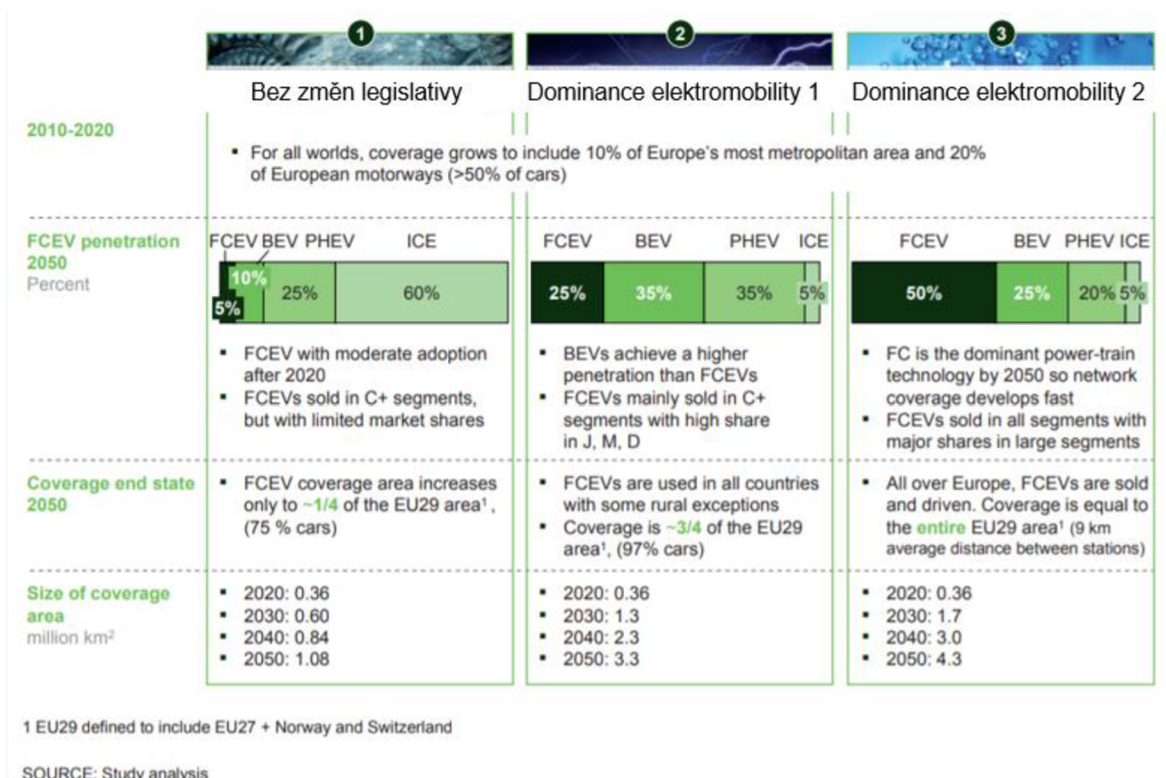


Zdroj: (Automotive Thüringen e.V., 2021)

Obr. 21 Registrace vodíkových elektromobilů 2020 v Evropě

Úspěšnost elektromobilů v obou podobách bude silně závislá od změn v emisních předpisech (Amsterdam Roundtable Foundation and McKinsey & Company The Netherlands, 2014). V případě značných změn regulací emisí do 10 g/km CO₂, kam zatím Evropa směřuje, se očekává dominance elektromobility v obou podobách. Zde existují dva scénáře. Prvním z nich je dominance bateriových a plug-in hybridních pohonů, které by měly tržní podíl 70 %. Na elektromobily s palivovým článkem by ve scénáři jedna připadal tržní podíl ve výši 25 %. V druhém a reálnějším případě budou dominovat elektromobily s palivovým článkem. Elektromobilita by měla tržní podíl ve výši 75 %, kdy 50 % by připadalo

na elektromobily s palivovým článkem. Pokud dojde ke změnám regulací pouze částečně do 40 g/km CO₂, na trhu budou stále silné konvenční pohony doplněné o plug-in hybridní a bateriové pohony. Pokud nedojde ke změnám současných emisních limitů ve výši 95 g/km CO₂, tak na trhu budou dominovat konvenční a plug-in hybridní pohony, které by měly tržní podíl ve výši 85 %. Druhý a třetí scénář z dnešního pohledu se nejeví reálně. V současnosti připravovaná emisní norma Euro 7 a cíle evropské a německé politiky v rámci bez-emisní dopravy neumožňují zachování současných emisí CO₂ z dopravy. Budoucí mix mobility bude založen na dvou dominantních pohonech na trhu, které jsou v mnoha ohledech konkurenty, ale ve skutečnosti se spíše doplňují (Mc Kinsey, 2017). Prvním jsou bateriové elektromobily, které dávají smysl pro krátké vzdálenosti. Maximální dojezd bateriových elektromobilů je limitován především velikostí akumulátorů. Pro větší dojezd je nutná větší baterie, což přináší dodatečnou hmotnost. Dodatečná hmotnost pak vede ke snížení maximálního dojezdu. Oproti tomu elektromobily s palivovým článkem na vodíkové palivo dokážou uskladnit více energie v menší hmotnosti. V kombinaci s krátkými časy naplnění nádrže se z nich stává vhodnější volba pro dlouhé trasy. Kolem roku 2030 by mělo na trhu dojít k větší akceptaci elektrické mobility. Zároveň by mělo dojít k dostatečnému snížení nákladů u obou typů elektromobility. Elektromobily s palivovým článkem budou pravděpodobně stále dražší než bateriová konkurence (Hydrogen Council, 2020). Klíčovým faktorem pro rozhodování o koupi bude flexibilita. Bude záležet na ochotě koncového zákazníka si připlatit za zvýšenou flexibilitu elektromobilu s palivovým článkem. V důsledku budou oba typy elektromobility dosahovat dostatečné konkurenceschopnosti. Na obrázku 22 jsou zobrazeny 3 předpovídané scénáře pro budoucnost mobility v Evropské Unii.



Zdroj: (Clean Hydrogen Partnership, 2022)

Obr. 22 Tři scénáře tržních podílů různých typů pohonů v roce 2050

Elektromobily s palivovým článkem začnou v určitých segmentech dosahovat konkurenceschopnosti vůči bateriovým elektromobilům od roku 2025 (Hydrogen Council, 2020). Prvním segmentem budou velké vozy jako porovnávaná Toyota Mirai či Volkswagen Arteon. Vozy v této třídě budou nabízet dojezd od 650 km výše. Druhým segmentem budou vozy střední velikosti s dojezdem okolo 500 km a výše. Okolo roku 2035 budou ve stejném segmentu nabízené elektromobily s palivovým článkem s menším dojezdem okolo 300 km. U malých vozů se předpokládá dominance bateriových elektromobilů. V období 2025 až 2050 se očekává značný nárůst elektromobilů s palivovým článkem (Roland Berger Consulting, 2020). Kolem roku 2030 by pouze v Německu mělo být prodáno zhruba 660 000 elektromobilů s palivovým článkem. V roce 2050 se očekává, že v Německu bude v oběhu již kolem 8 milionů elektromobilů s palivovým článkem.

Po celkovém posouzení všech kritérií lze tvrdit, že elektromobily s palivovým článkem na vodíkové palivo mají dostatečný potenciál, aby se prosadily na německém trhu. Vzhledem k výhodám elektromobilů s palivovým článkem lze očekávat, že na trhu budou dominovat. Kolem roku 2050 by elektromobily

s palivovým článkem měly být dominantními. Doba adaptace trhu bude silně závislá od připravenosti infrastruktury. Nicméně, Německo je na přechod k vodíkové mobilitě dobře připraveno a období adaptace 2025 až 2050 je reálné. Klíčovým pro úspěch budou německé automobilky vzhledem k faktu, že na domácím trhu zcela dominují. Nakonec bylo vybráno 5 nejdůležitějších kritérií úspěchu inovací v souvislosti s elektromobily s palivovým článkem na vodíkové palivo, kterým byla následně přiřazena důležitost. Škála důležitosti byla uvedena od 1 do 5, kdy nejdůležitější předpoklad byl ohodnocen 1 a nejméně důležitý předpoklad 5. Přehled nejdůležitějších kritérií úspěchu elektromobilů s palivovým článkem lze nalézt v tabulce 10.

Tab. 10 Nejdůležitější kritéria úspěchu elektromobility s palivovým článkem

Kritérium	Důležitost	Předpoklad
Konkurenční výhoda	5	Nutné udržení dostatečné výhody oproti jiným alternativním pohonům
Dostupnost zdrojů	2	Zajistit distribuci vodíkového paliva široké veřejnosti
Jasná definice	1	Jasná komunikace a zvýraznění rozdílů oproti jiným alternativním pohonům
Odbornost provedení	3	Zajištění bezpečnost, spolehlivost a účinnost elektromobilů s palivovým článkem
Pozorovatelnost	4	Zvýšení nabídky a dostupnosti zapříčiní zvýšený výskyt elektromobilů s palivovým článkem na komunikacích

Závěr

Diplomová práce na téma Stanovení tržního potenciálu vodíkových automobilů na vybraném trhu EU úspěšně plní hlavní cíl stanovení tržního potenciálu vodíkových automobilů na německém trhu. Dílčí cíle v podobě posouzení připravenosti německého trhu, stanovení nutných předpokladů a doby aplikace vodíkového pohonu do reálného provozu byly splněny.

Diplomová práce poskytuje všeobecný přehled konvenčních a nejdůležitějších alternativních pohonů budoucnosti. V teoretické části práce byly popsány a navzájem porovnány možnosti využití vodíku pro pohon osobních automobilů a způsoby produkce vodíku. Dále v teoretické části byla provedena specifikace a analýza německého trhu s novými automobily v období 2019 až 2020 s přihlédnutím k trendu nástupu alternativních pohonů v sektoru osobních automobilů. Teoretická část práce je uzavřena popsáním německé vodíkové strategie. Praktická část diplomové práce zhodnocuje pohon palivovým článkem s vodíkovým palivem vůči konvenčním a alternativním pohonům osobních automobilů. Dále v praktické části je stanoven tržní potenciál elektromobilů s palivovým článkem na vodíkové palivo za pomoci SWOT analýzy. Dále byly stanoveny nejdůležitější předpoklady pro aplikaci elektromobilů s palivovým článkem na vodíkové palivo do reálného provozu.

Z výsledků diplomové práce vyplívá, že elektromobily s palivovým článkem disponují dostatečným potenciálem na prosazení na německém trhu. Vzhledem k připravenosti německého trhu a plánům vlády, a i soukromého sektoru bude německá infrastruktura dostatečně rozvinutá na příchod vodíkové mobility. Rozmezí, ve kterém bude docházet k rozšíření vodíkové mobility, bylo stanoveno na období 2025 až 2050. Vzhledem k plánům německých výrobců automobilů lze předpokládat dominanci německých výrobců na domácím trhu i v budoucnosti. Budoucí mix mobility se bude skládat především z elektromobilů s oběma typy pohonů. Obě formy elektromobility se budou navzájem doplňovat a bude tak zachována rozmanitost nabídky osobních automobilů.

V daném tématu diplomové práce by v rámci dalšího výzkumu mohly být analyzovány sociologické a ekonomické vlivy na dobu aplikace vodíkového pohonu do reálného provozu.

Seznam literatury

ADAC [online]. Ladestationen für Elektroautos: Das kostet der Strom. 06. 10 2020. [29-09-2021]. Dostupné z: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/laden/elektroauto-ladesaeulen-strompreise/>

ADAC [online]. Diese Elektroautos gibt es aktuell zu kaufen. 23. 08. 2021a [15-09-2021]. Dostupné z: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/kaufen/elektroautos-uebersicht/>

ADAC [online]. Spritpreise: Tanken war 2020 rund 15 Cent billiger als im Vorjahr. 04. 01. 2021b [15-09-2021]. Dostupné z: <https://www.adac.de/news/spritpreise-2020/>

ADAC [online]. Plug-in-Hybrid: Modelle, Verbrauch, Technik, Kosten, Ökobilanz. 07. 09. 2021c [29-09-2021]. Dostupné z: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle/auto/plug-in-hybrid/>

ADAC [online]. So viele Tankstellen gibt es in Deutschland. 01. 03. 2021c [07-03-2022]. Dostupné z: <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/deutschland/tankstellen-in-deutschland/>

Audi [online]. Audi h-tron quattro. 2021. [14-10-2021]. Dostupné z: <https://www.audi.com/en/experience-audi/models-and-technology/concept-cars/audi-h-tron-quattro.html>

Automotive Thüringen e.V. [online]. Brennstoffzellen-Fahrzeuge – wo sind die Anwender im Automobilbereich? 08 2021. [12-03-2022]. Dostupné z: <https://www.automotive-thueringen.de/documents/5004146/5082862/at-Factsheet+No.3-FCEV-August21.pdf/c0364a78-ebcf-fb96-3e0f-2127eb2e7c96>

BESSANT, John, Joe TIDD. *Innovation and Entrepreneurship*. 3. John Wiley & Sons, 2015. ISBN 978-1-118-99309-5.

BMW Group [online]. Elektromobilität – TECHNOLOGIE. 2021. [14-10-2021]. Dostupné z: <https://www.bmwgroup.com/de/elektromobilitaet/technologie.html>

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle [online]. Verlängerung der Innovationsprämie für E-Autos 20. 11. 2020a. [15-9-2021]. Dostupné z: https://www.bafa.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/DE/Energie/Elektromobilitaet/20201120_verlaengerung_innovationspraemie.html

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle [online]. Förderung von elektrisch betriebenen Fahrzeugen. 21. 10. 2020b. [15-9-2021]. Dostupné z: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/emob_merkblatt_2020_1021.pdf?__blob=publicationFile&v=8

Bundesministerium für Bildung und Forschung. [online]. Nationale Wasserstoffstrategie. 2021. [13-10-2021]. Dostupné z: https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/energiewende-und-nachhaltiges-wirtschaften/nationale-wasserstoffstrategie/nationale-wasserstoffstrategie_node.html

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. [online]. Förderung der Elektromobilität. 17. 07. 2020. [16-09-2021]. Dostupné z: <https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-mobilitaet/verkehr/elektromobilitaet/foerderung>

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. [online]. „Wir wollen bei Wasserstofftechnologien Nummer 1 in der Welt werden“ 28. 05. 2021. [06-03-2022]. Dostupné z: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/05/20210528-bmwi-und-bmvi-bringen-wasserstoff-grossprojekte-auf-den-weg.html>

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. [online]. Fakten zum deutschen Außenhandel. 2021a. [13-10-2021]. Dostupné z: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Aussenwirtschaft/fakten-zum-deutschen-aussenhandel.pdf?__blob=publicationFile&v=20

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. [online]. Automobilindustrie. 2021b. [15-10-2021]. Dostupné z: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2021/05/20210528-bmwi-und-bmvi-bringen-wasserstoff-grossprojekte-auf-den-weg.html>

Bundesnetzagentur. [online]. Ladesäulenkarte 01. 08. 2021. [15-09-2021]. Dostupné z: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/E-Mobilitaet/Ladesaeulenkarte/start.html

Clean Hydrogen Partnership. [online]. 2022. [08-03-2022]. Dostupné z: [https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2014-09/Power trains for Europe 0.pdf](https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2014-09/Power%20trains%20for%20Europe_0.pdf)

COOK, Peter. *Leading innovation, creativity and enterprise*. Bloomsbury, 2016. ISBN 978-1-4729-2539-8.

Deloitte China. [online]. Fueling the Future of Mobility. Hydrogen and fuel cell solutions for transportation. 2020. [14-10-2021]. Dostupné z: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cn/Documents/finance/deloitte-cn-fueling-the-future-of-mobility-en-200101.pdf>

Deutsche Energie-Agentur [online]. Ein Jahr Nationale Wasserstoffstrategie: Gelungener Start – jetzt einen Gang hochschalten und Planungssicherheit schaffen. 01. 07. 2021a. [15-10-2021]. Dostupné z: <https://www.dena.de/newsroom/meldungen/ein-jahr-nationale-wasserstoffstrategie/>

Deutsche Energie-Agentur [online]. Elektrofahrzeuge (BEV/PHEV/REEV). 2021b. [15-10-2021]. Dostupné z: <https://www.pkw-label.de/alternative-antriebe/elektrofahrzeuge-bevphevreev>

Deutschland [online]. 22. 09. 2020. [09-09-2021]. Dostupné z: <https://www.deutschland.de/de/topic/politik/deutschland-in-fakten-und-zahlen-das-wichtigste-ueber-land-und-leute>

Die Brennstoffzelle [online]. BMW und die CleanEnergy World-Tour. 2021. [13-10-2021]. Dostupné z: <http://www.diebrennstoffzelle.de/h2projekte/mobil/bmw.shtml>

Die Bundesregierung [online]. Die Nationale Wasserstoffstrategie.06. 2021. [16-09-2021]. Dostupné z: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=20

DUMITRESCU, Delia, Maxwell LUTHY, Henry MASON, David Mattin a Alexander OSTERWALDER. *Beat accelerating customer expectations with: trend-driven innovation*. Wiley, 2015. 352 s. ISBN 978-1-119-07631-5.

FERGUSON, Colin, Allan KIRKPATRICK. *Internal Combustion Engines – Applied Thermosciences*. John Wiley, 2015. ISBN 9781118926529.

Fraunhofer [online]. Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland. 10. 2021. [13-03-2022]. Dostupné z: https://www.ieg.fraunhofer.de/content/dam/ieg/documents/pressemitteilungen/2019-10_Fraunhofer_Wasserstoff-Roadmap_fuer_Deutschland.pdf

Germany Trade & Invest [online]. Germany – The World's Automotive Hub of Innovation. 2021. [09-09-2021]. Dostupné z: <https://www.gtai.de/gtai-en/invest/industries/mobility/automotive-industry#>

H2 Mobility [online]. Wasserstoffautos. 2021. [14-10-2021]. Dostupné z: <https://h2.live/wasserstoffautos/>

H2 Mobility [online]. H2 tanken. 2022. [28-02-2022]. Dostupné z: <https://h2.live/tankstellen/>

Handelsblatt. [online]. Welche Hersteller Autos mit Brennstoffzellen anbieten. 24. 06. 2021. [17-09-2021]. Dostupné z: <https://www.handelsblatt.com/mobilitaet/elektrromobilitaet/wasserstoff-autos-welche-hersteller-autos-mit-brennstoffzellen-anbieten/27306932.html?ticket=ST-1967500-UE6hdYN5SqEJbebvY2Qx-ap1>

HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony.: Komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilových škol*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.

HROMÁDKO, Jan, Jiří HROMÁDKO, Petr MILER a Vladimír HÖNIG. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.

Hydrogen Council. [online]. Path to hydrogen competitiveness - A cost perspective. 20. 01. 2020. [13-03-2022]. Dostupné z: https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2020/01/Path-to-Hydrogen-Competitiveness_Full-Study-1.pdf

Kia Deutschland. [online]. Kia EV6 Preislist. 11. 2021. [23-11-2021]. Dostupné z: https://www.kia.com/content/dam/kwcms/kme/de/de/assets/contents/utility/Preisliste/Kia-Germany-EV6_Pricelist.pdf

Linde-Gas. [online]. Vodík jako palivo. 11. 2021. [17-11-2021]. Dostupné z: <https://www.linde-gas.cz/cs/hydrogen/h2-mobility.html>

Mc Kinsey [online]. Amsterdam Roundtable Foundation and McKinsey & Company The Netherlands. „Evolution.“ Electric vehicles in Europe: gearing up for a new phase? 04. 2014 [12-03-2022]. Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/locations/europe%20and%20middle%20east/netherlands/our%20insights/electric%20vehicles%20in%20europe%20gearing%20up%20for%20a%20new%20phase/electric%20vehicles%20in%20europe%20gearing%20up%20for%20a%20new%20phase.a>

Mc Kinsey. [online]. Hydrogen: The next wave for electric vehicles?. 21. 11. 2017. [27-02-2022]. Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/hydrogen-the-next-wave-for-electric-vehicles>

Mineralölwirtschaftsverband. [online]. Entwicklung des Tankstellenbestandes ab 1950 in Deutschland jeweils zu Jahresbeginn. 2021. [15-09-2021]. Dostupné z: <https://www.mwv.de/statistiken/tankstellenbestand/>

Mobile.de. [online]. Wasserstoffautos kaufen: Das sind die Modelle auf dem Markt. 07. 10. 2021. [14-10-2021]. Dostupné z: <https://www.mobile.de/magazin/artikel/wasserstoffautos-kaufen-das-sind-die-modelle-auf-dem-markt--3702>

Nationaler Wasserstoffrat. [online]. Wasserstoff Aktionsplan Deutschland 2021 – 2025. 07. 2021. [15-10-2021]. Dostupné z: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/in/wasserstoffrat/media/Dokumente/NWR_Aktionsplan_Wasserstoff_2021-2025_WEB-Bf.pdf

OMV. [online]. Wasserstoff in der Mobilität. 01. 2021. [17-11-2021]. Dostupné z: <https://www.omv.at/de-at/tankstellen/kraftstoffe/wasserstoff>

PISTOIA Gianfranco. *Electric and Hybrid Vehicles: Power Sources, Models, Sustainability, Infrastructure and the Market*. Elsevier, 2010. ISBN 9780444535665.

REMEK, Branko. *Automobil a spalovací motor: historický vývoj*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3538-2.

Roland Berger Consulting. [online]. Potenziale der Wasserstoff- und Brennstoffzellen Industrie in Baden-Württemberg. 02. 2020. [13-03-2022]. Dostupné z: <https://www.rolandberger.com/en/>

RWE. [online]. Wasserstoff Perspektive, Strategie, Technologie. 2022. [06-03-2022]. Dostupné z: <https://www.rwe.com/unser-portfolio-leistungen/innovation-und-technik/wasserstoff>

SARSBY, Alan. *SWOT Analysis*. Spectaris, 2016, ISBN 9780993250422

Shell. [online]. BRENNSTOFFZELLE: IN DIE ZUKUNFT MIT WASSERSTOFF. 2021. [15-09-2021]. Dostupné z: <https://www.shell.de/geschaefts-und-privatkunden/shell-card/nachhaltigkeit/wasserstoff.html>

Shell in Deutschland. [online]. Shell startet Europas größte PEM-Wasserstoff-Elektrolyse. 01. 07. 2021. [06-03-2022]. Dostupné z: <https://www.shell.de/ueber-uns/standorte/rheinland/medieninfos-und-downloads/shell-startet-europas-groesst-e-pem-wasserstoff-elektrolyse.html#vanity-aHR0cHM6Ly93d3cuc2hlcGwuZGUvdWViZXltdW5zL3Byb2plY3RzLWZlZWZC1zaXRlcy9zaGVsbC1yaGVpbmxbmQvYWt0dWVsbGVzL3NoZWx>

Siemens Energy. [online]. Hydrogen for energy. 2022. [06-03-2022]. Dostupné z: <https://www.siemens-energy.com/global/en/priorities/future-technologies/hydrogen.html#Offerings>

Statista. [online]. Strompreise an Ladesäulen für Elektroautos in Deutschland nach Betreiber im Jahr 2020. 12. 04. 2017. [29-09-2021]. Dostupné z: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/882563/umfrage/strompreise-an-e-auto-ladesaeulen-nach-betreiber-in-deutschland/>

Statista. [online]. Anzahl der Wasserstofftankstellen in Deutschland von 2018 bis 2021a. 03. 2021. [02-03-2022]. Dostupné z: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/820836/umfrage/anzahl-der-wasserstofftankstellen-in-deutschland/>

Statista. [online]. Production volume of hydrogen in Germany from 2010 to 2020. 25. 11. 2021b. [06-03-2022]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/1265472/production-of-hydrogen-germany/>

Statistisches Bundesamt. [online]. Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Inlandsprodukt. 24. 08. 2021. [13-10-2021]. Dostupné z: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/inhalt.html>

Škoda Auto. [online]. GET TO KNOW THE MEB PLATFORM, THE BASE OF THE ŠKODA ENYAQ iV. 08. 10. 2020. [29-01-2022]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/en/skoda-world/innovation-and-technology/get-to-know-the-meb-platform-the-base-of-the-skoda-nyaq-iv/>

Škoda Auto. [online]. Superb Style iV. 2021a. [23-11-2021]. Dostupné z: https://cc.skoda-auto.com/deu/de-DE/?_ga=2.267775182.1704854772.1637854469-62e77f9d-0d25-4884-a827-95e1d4d5a02e&salesprogram=DEU&type=Car%20configurator

Škoda Auto. [online]. Superb iV. 10. 2021b. [30-09-2021]. Dostupné z: https://cc.skoda-auto.com/deu/de-DE/?_ga=2.267775182.1704854772.1637854469-62e77f9d-0d25-4884-a827-95e1d4d5a02e&salesprogram=DEU&type=Car%20configurator

Škoda Auto. [online]. 1,4 TSI iV 160 kW 6-stup. automat. 2021c. [30-09-2021]. Dostupné z: <https://cc.skoda-auto.com/cze/cs-CZ/engine-scenic?activePage=engines&color=9896&configurationId=&extraEquipments=MLAKFB1&id=CZE%3Bskoda%3B2022%3B3V35XC%3B0%3BGYAZYAZ%5CGYOZYUZ%5CMLEN1N7%3Bmda20210913014430%3Bcs-CZ%3B%3B63004%3B63004&interior=LT&modifiedPa>

Tatsachen über Deutschland. [online]. 2021. [13-10-2021]. Dostupné z: <https://www.tatsachen-ueber-deutschland.de/de>

The Society of Motor Manufacturers and Traders. [online]. Hydrogen fuel cell electric vehicles a quick guide to the UK market, technology and infrastructure. 03. 2019. [15-10-2021]. Dostupné z: <https://www.smmmt.co.uk/wp-content/uploads/sites/2/2019.03.11-SMMT-FCEV-guide-FINAL.pdf>

ThyssenKrupp. [online]. Eines der größten grünen Wasserstoffprojekte der Welt: thyssenkrupp unterzeichnet Vertrag über 2GW Elektrolyse-Anlage für Air Products in NEOM. 13.12. 2021. [06-03-2022]. Dostupné z: <https://www.thyssenkrupp.com/de/newsroom/pressemeldungen/presseedetailseite/eines-der-grossten-grunen-wasserstoffprojekte-der-welt--thyssenkrupp-unterzeichnet-vertrag-uber-2gw-elektrolyse-anlage-fur-air-products-in-neom-124583>

ThyssenKrupp. [online]. Wasserstoff: ein Energieträger für die Zukunft. 2022. [06-03-2022]. Dostupné z: https://hydrogen.thyssenkrupp.com/?gclid=EAIaIQobChMIg8K94cLx8gIVx-R3Ch0qpwsjEAAYAiAAEgJMO_D_BwE

Toyota DE. [online]. Mirai Basis. 2021. [15-09-2021]. Dostupné z: <https://www.toyota.de/carconfig/pdf/JmSOk48Z8>

Toyota CZ. [online]. Mirai. 2021. [13-10-2021]. Dostupné z: <https://www.toyota.cz/new-cars/mirai/>

Toyota Europe. [online]. New vehicle zero CO₂ emissions. 2021. [14-10-2021]. Dostupné z: <https://www.toyota-europe.com/world-of-toyota/feel/environment/environmental-challenge-2050/challenge-1>

Verband der Automobilindustrie. [online]. Neuzulassungen und Besitzumschreibungen. 2021. [13-09-2021]. Dostupné z: <https://www.vda.de/de/services/zahlen-und-daten/jahreszahlen/neuzulassungen.html>

VOLKER, Quaschnig. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.

Volkswagen newsroom. [online]. The perfected running gear. 26. 11. 2019. [13-10-2021]. Dostupné z: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/the-new-golf-international-vehicle-presentation-5609/the-perfected-running-gear-5624>

Volkswagen newsroom. [online]. Alle Werke von Volkswagen produzieren mit dem heutigen Tag wieder. 16. 06. 2020. [13-09-2021]. Dostupné z: <https://www.volkswagen-newsroom.com/de/pressemitteilungen/alle-werke-von-volkswagen-produzieren-mit-dem-heutigen-tag-wieder-6137>

Volkswagen. [online]. Battery or fuel cell, that is the question. 12. 03. 2020. [13-10-2021]. Dostupné z: <https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2020/03/battery-or-fuel-cell--that-is-the-question.html>

Volkswagen Deutschland. [online]. Stellen Sie sich Ihren idealen Volkswagen zusammen. 2021. [23-11-2021]. Dostupné z: https://www.volkswagen.de/de/konfigurator.html/_app/arteon/arteon/elegance.app?---=%7B%22filter-service%22%3A%22%2F%3FengineType%3DBenzin%26engineType%3DDiesel%22%7D&category-app=private&carlineId-app=31500&exteriorId-app=F14+C2C2&interiorId-app=F56

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. [online]. Porovnání kvality vodíku z různých technologií výroby - všcht. 27. 06. 2013. [23-11-2021]. Dostupné z: <http://paliva.vscht.cz>

World Energy Council. [online]. Innovation Insights Brief 2019. 2019 [12-03-2022]. Dostupné z: <http://www.h2fcsupergen.com/wp-content/uploads/2019/06/Innovation-Insights-Brief-New-Hydrogen-Economy-Hype-or-Hope.pdf>

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma automobilu se spalovacím motorem	10
Obr. 2 Schéma automobilu spalující vodík	11
Obr. 3 Schéma funkce palivového článku	12
Obr. 4 Schéma automobilu s vodíkovým palivovým článkem.....	13
Obr. 5 Účinnost elektromobilů s pohony baterií a palivového článku v provozu..	15
Obr. 6 Přehled způsobů výroby vodíku	18
Obr. 7 Registrace nových vozidel v Německu dle struktury vlastnictví.....	22
Obr. 8 Registrace nových vozidel v Německu dle typu paliva	23
Obr. 9 Registrace nových vozidel v Německu - 10 nejprodávanějších značek	24
Obr. 10 Dobíjecí stanice v Německu podle spolkových zemí	26
Obr. 11 Grafické znázornění vodíkové strategie Německa	31
Obr. 12 Přehled porovnávaných automobilů	34
Obr. 13 Schéma automobilu s plug-in hybridním pohonem.....	38
Obr. 14 Schéma automobilu s bateriovým pohonem.....	42
Obr. 15 Rozložení vodíkových stanic v Evropě	47
Obr. 16 Vývoj poptávky po vodíkovém palivu pro elektromobily.....	51
Obr. 17 Vývoj počtu čerpacích stanic na vodíkové palivo v období 2018-2021	52
Obr. 18 Rozmístění čerpacích stanic na vodíkové palivo v Německu.....	53
Obr. 19 Rozmístění podporovaných projektů v Německu	54
Obr. 20 Předpokládaný vývoj cen vodíku v Evropské Unii v období 2020-2050...	58
Obr. 21 Registrace vodíkových elektromobilů 2020 v Evropě	64
Obr. 22 Tři scénáře tržních podílů různých typů pohonů v roce 2050	66

Seznam tabulek

Tab. 1 Dotační inovační prémie na nové elektromobily a vozidla s palivovým článkem	27
Tab. 2 Dotační inovační prémie na nová plug-in hybridní vozidla	28
Tab. 3 Dotační inovační prémie na mladé ojeté bateriové elektromobily, vozidla s palivovým článkem a plug-in hybridní vozy	29
Tab. 4 Přehled porovnávaných aspektů	34
Tab. 5 Porovnání Vodíkové Toyoty Mirai s konvenčními Volkswageny Arteon	37
Tab. 6 Porovnání vodíkové Toyoty Mirai s plug-in hybridní Škodou Superb iV	41
Tab. 7 Porovnání vodíkové Toyoty Mirai s bateriovou Kiu EV6.....	44
Tab. 8 SWOT analýza	50
Tab. 9 Předpoklady pro aplikaci elektromobilů s palivovým článkem do reálného provozu	60
Tab. 10 Nejdůležitější kritéria úspěchu elektromobility s palivovým článkem	67

Seznam příloh

Příloha 1 Srovnání porovnávaných pohonů	81
---	----

Příloha 1 Srovnání porovnávaných pohonů

	Toyota Mirai Basis	Volkswagen Arteon Elegance 2.0 TDI	Volkswagen Arteon Elegance 2.0 TSI	Škoda Superb iV Style 1.4 TSI	Kia EV6
Pořizovací cena v €	63 900	47 925	43 880	46 930	46 580
Cena pohoných hmot v € za l/kg/kWh	9,5	1,111	1,255	1,255 0,389	0,389
€/100 km	8,45	6,31	8,66	6,78 (Benzín) 5,72 (elektrina)	6,45
Palivo	Vodík	Nafta	Benzín	Benzín + elektrický proud	Elektrický proud
Dojezd km	650	1269	956	900 (benzín) 64 (baterie) 964 (benzín + baterie)	394
Spotřeba kombinovaná na 100 km	0,89– 0,79	5,2	6,9	5,4 1,0 14,7	16,6
CO ₂ g/km	0	136	155	123 23 0	0

	Toyota Mirai Basis	Volkswagen Arteon Elegance 2.0 TDI	Volkswagen Arteon Elegance 2.0 TSI	Škoda Superb iV Style 1.4 TSI	Kia EV6
Výkon kW	134	147	140	160 (115+85)	125
Hmotnost kg	1 900	1704	1673	1756	1800
Objem zavazadlového prostoru v l	321	563	563	485	572

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Kryštof Maxa, BA		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	Specializace Řízení mezinárodních dodavatelských řetězců		
NÁZEV PRÁCE	Stanovení tržního potenciálu vodíkových automobilů na vybraném trhu EU		
VEDOUCÍ PRÁCE	Ing. Josef Bradáč Ph.D		
KATEDRA	KRVLK - Katedra řízení výroby, logistiky a kvality	ROK ODEVZDÁNÍ	2022
POČET STRAN	82		
POČET OBRÁZKŮ	22		
POČET TABULEK	10		
POČET PŘÍLOH	1		
STRUČNÝ POPIS	<p>Diplomová práce se věnuje stanovení tržního potenciálu pohonu palivovým článkem s vodíkovým palivem u osobních automobilů.</p> <p>Cílem práce je stanovit tržní potenciál vodíkových automobilů na německém trhu. Mezi dílčí cíle práce patří posouzení připravenosti německého trhu na příchod vodíkového pohonu, stanovení nutných předpokladů a doby aplikace vodíkového pohonu do reálného provozu</p> <p>Následně po stanovení nutných předpokladů pro aplikaci pohonu palivovým článkem s vodíkovým palivem a zhodnocení kritérií úspěchu inovací dochází ke stanovení tržního potenciálu. Osobní automobily s palivovým článkem na vodíkové palivo budou v budoucnosti významným pohonem v osobní automobilové mobilitě</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	Palivový článek s vodíkovým palivem, Budoucí mix mobility, Potenciál vodíkového pohonu, vodíkové palivo, Toyota Mirai, FCEV		

ANNOTATION

AUTHOR	Kryštof Maxa, BA		
FIELD	Specialization International Supply Chain Management		
THESIS TITLE	Determination of the market potential of hydrogen cars in a selected EU market		
SUPERVISOR	Ing. Josef Bradáč Ph.D		
DEPARTMENT	KRVLK - Department of Production, Logistics and Quality Management	YEAR	2022
NUMBER OF PAGES	82		
NUMBER OF PICTURES	22		
NUMBER OF TABLES	10		
NUMBER OF APPENDICES	1		
SUMMARY	<p>The diploma thesis deals with the determination of the market potential of hydrogen fuel cell propulsion in passenger cars.</p> <p>The aim of the thesis is to determine the market potential of hydrogen cars on the German market. Partial goals of the thesis include assessing the readiness of the German market for the arrival of hydrogen propulsion, determining the necessary prerequisites and time of application of hydrogen propulsion in real operation</p> <p>Following the determination of the necessary prerequisites for the application of hydrogen fuel cell propulsion and the evaluation of the criteria for the success of innovations, the market potential is determined. Hydrogen fuel cell cars will be a major driver of passenger car mobility in the future.</p>		
KEY WORDS	Hydrogen Fuel Cell, Future Mobility Mix, Hydrogen Power Potential, Hydrogen Fuel, Toyota Mirai, FCEV		