



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra aplikované fyziky a techniky

Bakalářská práce

Perspektivy vodíkových pohonů a elektromobility

Vypracoval: Jan Klein

Vedoucí práce: Mgr. Pavel Černý, Ph.D.

České Budějovice 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne.....

Podpis.....

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Mgr. Pavlovi Černému, Ph.D. za trpělivost, odborné vedení, podnětné rady a vstřícný přístup. Poděkovat bych chtěl rovněž celé mé rodině a přítelkyni za neutuchající podporu, kterou mi věnovali v náročných chvílích během mého studia.

Abstrakt

Tato práce se zabývá problematikou vodíkových pohonů a elektromobility. Zprvu je vysvětlený vodík jako chemický prvek. Následně je popsána jeho výroba, přeprava a skladování. Dále je rozebraný přímý princip spalování vodíku a jsou uvedeny příklady automobilů s jeho využitím. Poté se problematika ubírá k palivovým článkům, kde je vysvětlený jeho princip funkce, nastíněno několik typů palivových článků a uvedená konstrukce automobilu s palivovým článkem. Dále je poukázáno na elektřinu a její infrastrukturu a jsou vysvětleny funkční principy komponentů elektromobilů. Poté jsou popsány funkce a specifikace dobíjecích bodů. V závěru teoretické části jsou uvedeny různé typy konektorů pro dobíjení elektromobilů používané v globálním měřítku. V praktické části byla provedena analýza počtu automobilů s vodíkovým palivovým článkem a elektromobilů v rámci celého světa, Evropy a České republiky. Dále byla v totožném měřítku zmapována infrastruktura obou typů automobilů a provedený průzkum v okrese České Budějovice za účelem zmapování vodíkových plnicích stanic a dobíjecích bodů pro elektromobily.

Klíčová slova: vodík, vodíková mobilita, vodíkové plnicí stanice, elektromobilita, dobíjecí body, analýza.

Abstract

This thesis deals with the issue of hydrogen propulsion and electromobility. Initially, hydrogen as a chemical element is explained. Thereafter its production, transport and storage are described, the direct principle of hydrogen combustion is discussed and examples of cars using hydrogen are given. Then the subject turns to fuel cells, where the principle of its function is explained, several types of fuel cells are outlined, and the design of a fuel cell car is presented. Next, electricity and its infrastructure are highlighted, and the functional principles of electric vehicle components are explained. Then the functions and specifications of charging points are described. At the end of the theoretical part, different types of plugins for EV charging used globally are presented. In the practical part, an analysis of the number of hydrogen fuel cell cars and EVs worldwide, Europe and the Czech Republic was performed. Furthermore, the infrastructure of both types of cars was mapped on an identical scale and a survey was carried out in the district of Czech Budweis to map hydrogen filling stations and charging points for electric vehicles.

Keywords: hydrogen, hydrogen mobility, hydrogen filling stations, electromobility, charging points, analysis.

Obsah

Úvod	6
1 Teoretická část	7
1.1 Vodíková mobilita.....	7
1.1.1 Vodík	7
1.1.2 Přeprava a skladování vodíku	8
1.1.3 Automobil s přímým spalováním vodíku	12
1.1.4 Palivový článek.....	13
1.1.5 Typy palivových článků.....	16
1.1.6 Vlastnosti a konstrukce automobilu s palivovým článkem	18
1.2 Elektromobilita.....	19
1.2.1 Elektřina a její infrastruktura	19
1.2.2 Elektromotor elektromobilu.....	22
1.2.3 Baterie elektromobilu	24
1.2.4 Vlastnosti a konstrukce elektromobilu	26
1.2.5 Specifikace nabíjecích stanic elektromobilů.....	28
1.2.6 Typy konektorů pro nabíjení elektromobilů ve světě	30
2 Praktická část.....	34
2.1 Analýza současného stavu vodíkové mobility	34
2.1.1 Globální analýza vodíkové mobility.....	34
2.1.2 Analýza vodíkové mobility v evropských státech	37
2.1.3 Analýza vodíkové mobility v České republice	39
2.1.4 Průzkum vodíkových plnicích stanic v okrese České Budějovice	41
2.2 Analýza současného stavu elektromobility	42
2.2.1 Globální analýza elektromobility.....	42
2.2.2 Analýza elektromobility v evropských státech.....	45
2.2.3 Analýza elektromobility v České republice.....	47
2.2.4 Průzkum dobíjecích bodů elektromobilů v okrese České Budějovice	51
Diskuze	54
Závěr	56
Seznam použité literatury	57

Úvod

Na počátku vývoje automobilismu již byly vyrobeny automobily na vodíkový i elektrický pohon. V roce 1807 zkonstruoval švýcarský inženýr první vůz se spalovacím motorem, kde jako palivo byl využíván vodík. Vodíková auta stála u zrodu motorismu. Roku 1835 byl postaven model elektromobilu, který je považován za první na světě. Neměl potřebné akumulátory, které byly vynalezeny až později v roce 1859. V průběhu let docházelo ke značnému vývoji, poté jim začaly konkurovat zážehové motory a jejich další vývoj byl značně omezený jejich velkými pokroky [1-3].

Nacházíme se v době, kdy se začínají projevovat změny klimatu, které jsou patrné po celém světě. Největším problémem je aktuálně oxid uhličitý, který z 71,7 % produkuje automobily a nákladní vozy se spalovacími motory. Jednotlivé země se snaží na ně reagovat zavedením emisních zákonů a zmírnění vypouštění škodlivin do ovzduší. Z tohoto důvodu se dostává velké podpory elektromobilů a automobilů s vodíkovým pohonem, které jsou v provozu bezemisní [1, 4].

Výrobci automobilů již dnes vyrábějí automobily s elektrickým pohonem či s vodíkovým palivovým článkem. Tyto varianty se z dnešního pohledu zdají být nejjednodušším krokem k ukončení výroby spalovacích automobilů, které produkují oxid uhličitý a další škodlivé látky. Podpora elektromobilů a automobilů s vodíkovým palivovým článkem ve světě stoupá. Automobilky zastupují různé názory, jestli se zaměřit více na vývoj baterií v elektromobilech a zdokonalit tím možnosti vyššího dojezdu, anebo věnovat více úsilí vývoji vodíkovým palivových článků a zvýšit jeho účinnost a životnost. U elektromobilů je dalším největším problémem čas nabíjecího cyklu, který je pro mnohé uživatele příliš dlouhý. Na tento problém je aplikován vývoj a budování čím dál výkonnějších nabíjecích bodů, ale jejich výstavba je s čím dál větším výkonem nabíjení náročnější. U vodíkové mobility je jedním z největších problémů vysoká materiální náročnost na skladování vodíku v nádrži vodíkového automobilu a také s distribucí vodíku. Důležitým aspektem obou variant je vyrábět elektřinu či vodík bezemisním způsobem, aby byla bez uhlíková stopa plně využita. [5-6].

Tato práce se zabývá vlastnostmi a konstrukcí vodíkových pohonů a elektromobilů, funkčními principy komponentů obou typů automobilů a poukazuje na jednotlivé perspektivy mezi oběma typy pohonů. Praktická část má za cíl zanalyzovat počet vodíkových automobilů a elektromobilů ve světě, v Evropě a České republice. Poukázat na současné rozdíly využívání těchto pohonů a zmapovat stav potřebné infrastruktury k využívání obou typů automobilů, a nakonec provést průzkum v okrese České Budějovice za účelem zmapování vodíkových plnicích stanic pro vodíkovou mobilitu a nabíjecích bodů pro elektromobilitu.

1 Teoretická část

1.1 Vodíková mobilita

1.1.1 Vodík

Vodík je nejjednodušší chemický prvek, je bezbarvý, hořlavý bez zápachu a chuti. Atom vodíku v jádře obsahuje proton nesoucí jednotku kladného náboje a elektron se záporným nábojem. Jedna z objevených nejstarších vlastností vodíku je že hoří s kyslíkem za vzniku vody. Ve vesmíru je vodík nejrozšířenějším prvkem, kde je zastoupený ve $\frac{3}{4}$ hmoty vesmíru. V zemské kůře je obsažen jen ze 0,14% hmotnosti, ale je součástí vody v oceánech, ledovců, řekách, jezerech a atmosféře. Tvoří velké množství sloučenin a je obsažen téměř ve všech uhlíkatých sloučeninách. Je nejlehčí ze všech prvků, a proto se rychle rozptyluje do ovzduší a při porovnání s kyslíkem je 14x lehčí. Oproti jiným látkám vodík v plynném stavu expanduje z vysokého tlaku na nízký, a přitom nedochází k ochlazení plynu nýbrž ke zvýšení teploty. Podle termodynamických zákonů to znamená, že síly odpudivé převyšují přitažlivé mezi molekulami vodíku při pokojové teplotě, jinak by expanze vodík ochladila. Vodík neznečišťuje prostředí, není toxický, nepoškozuje ozónovou vrstvu a nevytváří žádné škodlivé emise. Když se vodík využívá ke spalování vzniká energetický zisk a jako odpad produkuje čistou nezávadnou vodu. Vodík nelze těžit stejným způsobem jako ostatní paliva, protože je nosič energie, která se z něj pracně a z nemalými ztrátami jeho samotné energie získává [7-8].

Vodík vyrábíme několika způsoby. Některé z nich jsou ekologické, ale jsou na výrobu komplikované nebo drahé. Nejlevnějším způsobem je výroba z fosilních paliv, která dnes tvoří 96 % vyrobeného vodíku. Jedná se o chemický proces, který za vysokých teplot reaguje se směsí metanu a vodní páry. Vzniká vodík, ale společně s ním oxid uhličitý, který se uvolňuje do ovzduší. Účinnost procesu je 80 %, ale poměr vyrobeného vodíku a vyprodukovaného oxidu uhličitého je 1:5,5. Z obnovitelných zdrojů se dnes vyrábí pouze 4 % vodíku. Lze využívat několik různých procesů jako jsou elektrolyza vody, parní elektrolyza a také z biomasy. Při elektrolyze vody se díky průchodu elektrického proudu roztokem štěpí vazby mezi vodíkem a kyslíkem a voda se rozkládá na dva plyny. Účinnost tímto způsobem je 60 % a na výrobu 1 kg spotřebujeme 9 l vody a 60 kWh elektrické energie. Tohoto se využívá u elektráren v čase, kdy produkují více energie, než je aktuálně využíváno v rozvodné síti. Přebytná energie se spotřebovává na výrobu vodíku. Samozřejmě musí být využíván čistý zdroj energie. Tento způsob lze používat celosvětově [9].

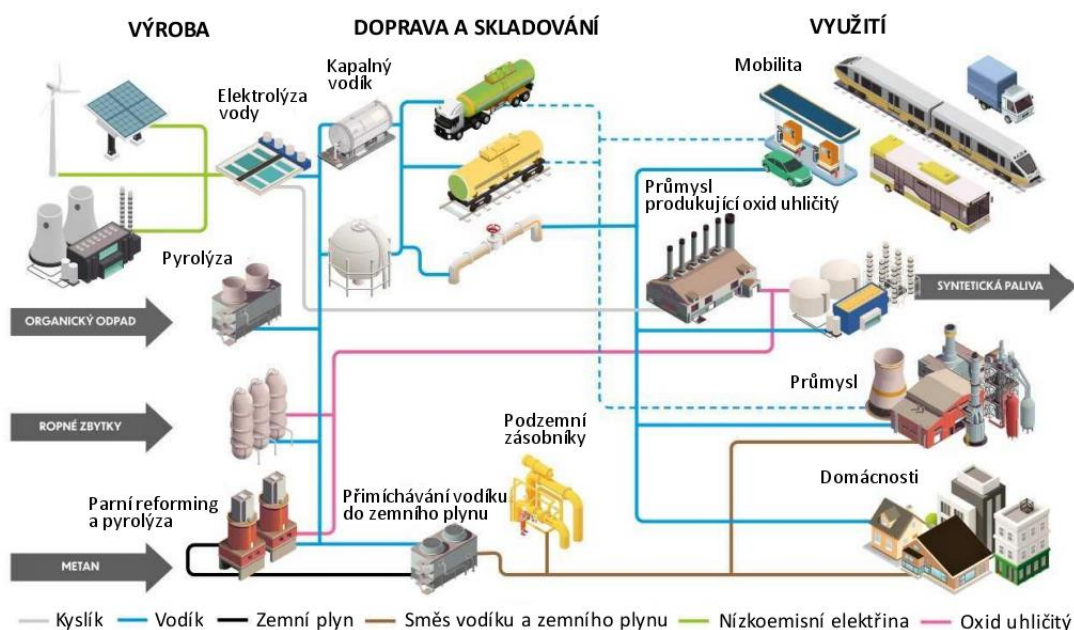
Vodík je hořlavý a výbušný. Směs vodíku a kyslíky i v malém množství vytváří výbuch. Jeho zápalná energie je velmi nízká, proto se nesmí v blízkosti vodíku manipulovat ohněm, jiskrami, výboji ani elektrostatickými výboji. Pokud začne vodík hořet za denního světla, lidské oko není schopno zaznamenat plamen, a proto se stávají nebez-

pečnými i velmi malé úniky. Přesto se vodíkové nádrže jeví jako více bezpečné, než nádrže benzínové. Nízká hustota plynu napomáhá k rychlému rozptýlu do okolí a tím se sníží koncentrace pod zápalnou mez. Důležitým faktorem je, že při hoření nevznikají žádné toxické zplodiny [10-11].

1.1.2 Přeprava a skladování vodíku

Vodík se přepravuje z místa na místo použitím potrubí anebo různými způsoby skladování a následnou distribucí na místo určení. Vybudování potrubí, aby se finančně vyplatilo, závisí na poptávce vodíku, která v dnešní době musí dosahovat stovek tun denně. Plynovody, které již jsou vybudované, mohou přepravovat velké množství energie. Infrastrukturu lze upravit k použití přepravě vodíku. Teoreticky v potrubí, které jsou vystavěné k přepravě metanu, lze přepravovat stejné množství energie vodíku. Vše závisí na neporušitelnosti součástí potrubí. Vodíková křehkost urychluje poškození potrubí vlivem rychlejší tvorby trhlin, a tím výrazně zkracuje životnost, také dynamické napětí a existující trhliny jsou dalším problémem přepravy vodíku [12].

Vodík je možná smíchat se zemním plynem, aby se předešlo problémům s přepravou. Jejich poměr se ale musí v závislosti na stavu potrubí určit a kontrolovat. Kdyby vodík přesáhnul více procent, než je dovoleno, mohlo by dojít k poškození dílů, jako jsou kompresory a turbíny. Průměrně by nemělo být přesáhnuto 40 % podílu vodíku, jinak by se součásti museli vyměnit za takové, které by umožnily vyšší objemový průtok vodíku. Distribuce vodíku, uvedení do provozu a samotné čerpací stanice musí obsahovat bezpečnostní koncepci, testování a vyškolené zaměstnance s bezpečnou manipulací s vodíkem. Obrázek 1 zjednodušeně schematicky popisuje výrobu, úložné prostory, jednotlivé distribuce vodíku a následné aplikace a využití vodíku [12].

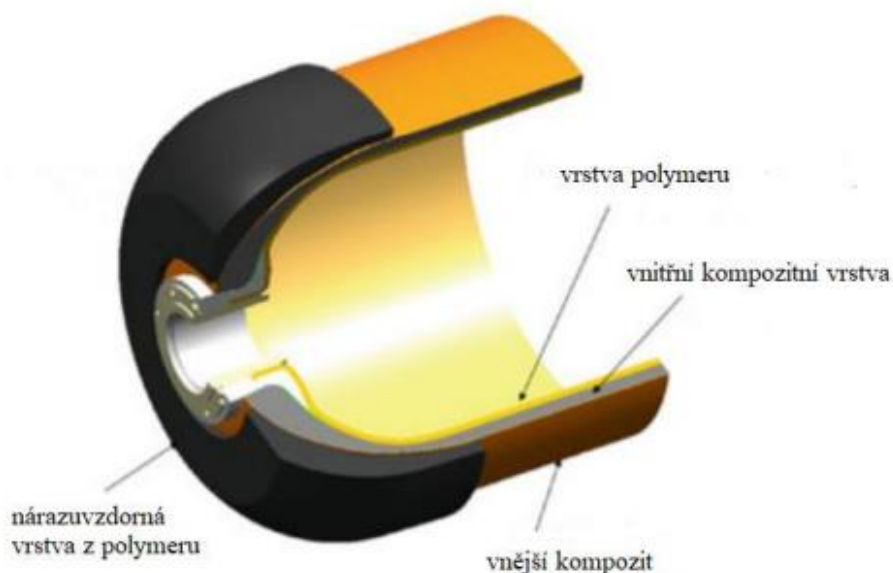


Obrázek 1: Výroba, distribuce a aplikace vodíku [13].

Pro budoucnost vodíku k používání jako paliva je klíčový vývoj bezpečných, cenově dostupných a energeticky nenáročných prostorů na skladování. Jelikož má ale vodík ze všech paliv nejmenší hustotu, nejmenší atomový poloměr i nejnižší bod varu dochází v uskladňovacích nádržích buďto k úniku nebo k poškození materiálu, které se nazývá vodíkové křehnutí. Jiné způsoby mohou zabránit těmto problémům, ale potřebujeme k uskladnění vynaložit značné množství energie. Vodík kvůli jeho mále hustotě musí být stlačován. Můžou být využívány tlakové lahve, které jsou konstruovány tak, aby odolávali přetlaku, destrukci a byly velmi těsné. Samotné stlačení je energeticky náročné a snižuje se ním celková účinnost vodíku. Při dlouhodobém skladování jsou používány kryogenní zásobníky, které umožňují skladování při setrvalých velmi nízkých teplotách, kde je uložený kapalný vodík. Skladování vodíku je v současné době jistou technologickou překážkou. Jednotlivé principy uskladnění mají svoje výhody i nevýhody, které se vybírají v závislosti na potřebě aplikace. Dochází k určitým vývojům v oblasti kompozitních nádrží pro automobilový průmysl, který ovšem jen vylepšuje vlastnosti skladovacích nádrží. Stále zůstane limitujícím faktorem požadovaný objem, respektive provozní tlak [14-15].

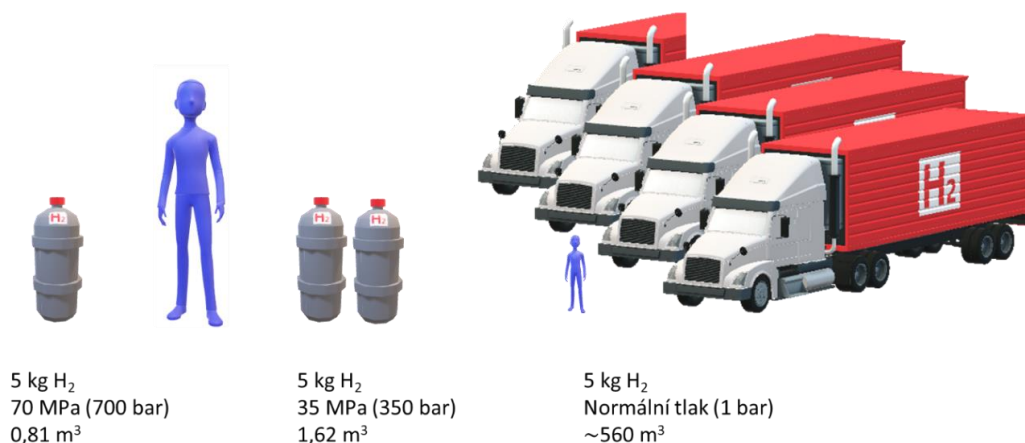
1.1.2.1 Skladování vodíku v plynné fázi

Při tomto způsobu skladování nedochází k žádné fázové proměně, takže se musí pouze zajistit vhodná nádoba. Při statických aplikacích v běžných podmínkách se využívají nízkouhlíkaté nebo legované oceli. Obrázek 2 znázorňuje v řezu zásobník na plynný vodík s popisem jednotlivých vrstev a jejich materiálů [14].



Obrázek 2: Zásobník na plynný vodík [16].

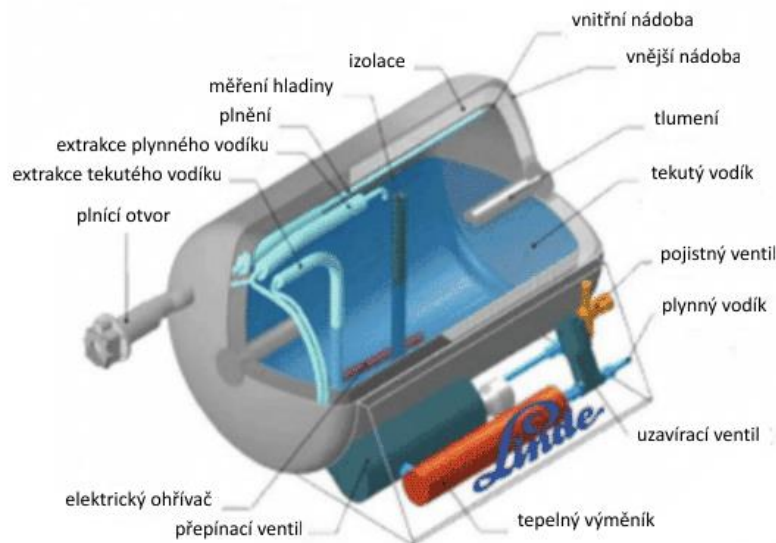
V prostorách, kde je více kladený důraz na rozměry, kam patří i automobil, se používají kompozitní tlakové nádoby. Jejich provozní tlak je 350 bar od větších automobilů až po 700 bar u menších, kde je problém s prostorem automobilu a uložením nádrže. Uvnitř lahve je na povrchu stěny tenká vrstva kovu případně speciálního polymeru, který zabraňuje úniku přes strukturu kompozitu. Pokud by byl plynný vodík skladován ve velkých objemných nádržích při tlaku 1 bar množství energie by bylo velmi nízké a výroba nádrží by byla finančně náročná. Z tohoto důvodu se vodík stlačuje, aby mohly být využívány menší nádrže. Energie spotřebovaná ke stlačení je 30 % samotné energie vodíku. Obrázek 3 udává poměr množství vodíku při různých provozních tlacích [14].



Obrázek 3: Porovnání stejného množství vodíku při různém provozním tlaku [14].

1.1.2.2 Skladování vodíku v kapalně fázi

Běžná fosilní paliva lze skladovat v kapalném stavu za běžných hodnot i v nízkých tlacích. Oproti tomu skladování vodíku v kapalném stavu je problém, kvůli jeho velmi nízkému bodu varu, který má hodnotu -253°C . Tato skutečnost zvyšuje náklady na použité materiály, zároveň energetické nároky jsou velmi vysoké. Pro tento typ skladování se používají vícevrstvé nádoby, která mají vysoké izolační vlastnosti. Jejich maximální přetlak je 5 barů. Při skladování dochází k určitému odpařování vodíku uvnitř nádrže z důvodu přestupu tepla z okolí. Tímto vlivem se uvnitř nádrže zvyšuje tlak, který by překonal maximální možný přetlak, a proto je přebytečný tlak regulován odpouštěním odpařeného vodíku ven z nádoby. Každý den se odpaří až 3 % objemu vodíku, proto je zapotřebí odpařený vodík jímat a stlačovat do přídavných tlakových láhví. Obrázek 4 popisuje nádrž na kapalný vodík v řezu a popisuje její jednotlivé struktury a součásti [14].

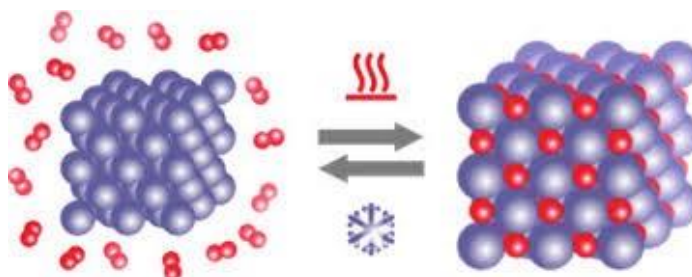


Obrázek 4: Nádrž s kapalným vodíkem a popisem jednotlivých vrstev a součástí [17].

Zkapalňování vodíku je technicky i energeticky náročný proces, při kterém energie potřebná ke zkapalňování dosahuje 40 % energie vodíku. Tento způsob je ale využíván při dlouhém transportování pomocí lodí či cisteren [14].

1.1.2.3 Skladování vodíku v pevné fázi

Vodík se dokáže díky svému malému atomu absorbovat do materiálu na bázi kovů. Při absorpci uvolňuje, respektive vyvíjí teplo. Opačným dějem, který se nazývá desorpce, se uvolňuje vodík z materiálu a teplo je spotřebováváno. Princip, který je zobrazen na obrázku 5, je vznik metal hydridu pomocí absorpce, respektive desorpce vodíku do struktury kovu [14].



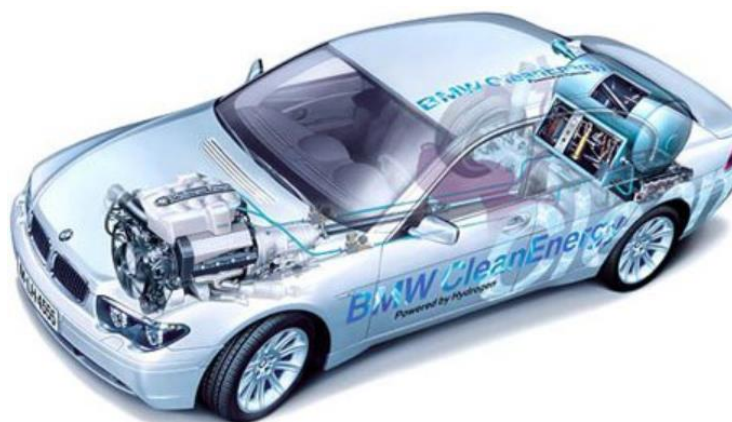
Obrázek 5: Princip absorpce/desorpce vodíku do struktury kovu a vznik metal hydridu [14].

U tohoto typu skladování není hlavním parametrem tlak nýbrž provozní teplota, při které dochází k desorpce vodíku z materiálu. Dalšími sledovanými vlastnostmi jsou hmotnost, objemová kapacita a také cena. Materiály, které se používají pro absorpci vodíku jsou slitiny hořčíku, hliníku, titanu, vanadu či sodíku. Cena se liší podle poměru jednotlivých materiálů či jejich kombinací. Typicky u hořčíku dochází jen o 30 % zvýšení

hmotnosti oproti uskladnění samotného kapalného vodíku, avšak potřeba vysoké desorpční teploty snižuje celkovou účinnost této metody [14].

1.1.3 Automobil s přímým spalováním vodíku

Vodíkový automobil s přímým spalováním vodíku funguje na stejném principu jako vznětové nebo zážehové spalovací motory, akorát využívají ke spalování vodík, který se ve spalovacím prostoru uvnitř motoru přeměňuje z jeho chemické energie na teplo a mechanickou energii, která působí na píst. Motor vykonává mechanickou práci a slouží jako pohon pro otáčky kol automobilu. U zážehového motoru se vodíkové palivo vstříkuje do sání nebo do spalovacího prostoru a je zažehnuto zapalovací svíčkou. U vznětového motoru se vodíkové palivo vstříkuje pod vysokým tlakem do spalovacího prostoru. V současnosti automobilky vyrobily jen několik prototypů automobilů, které mají upravené motory, aby mohli spalovat benzín, naftu a vodík. Za minimálním počtem vyrobených vodíkových automobilů s přímým spalováním stojí příliš problémů s ekologickou výrobou vodíku, uskladněním, přepravou, nízkou hustotou vodíku, bezpečností vodíku při havárii, jelikož je prudce hořlavý a také konstrukční problémy s výrobou vodíkových nádrží, které musí snášet vysoký tlak včetně vodíkové prostupnosti materiálem. Na obrázcích 6 a 7 jsou zobrazeny prototypy automobilů s přímým spalováním vodíku [18-19].



Obrázek 6: Automobil s přímým spalováním vodíku BMW Hydrogen 7 [20].



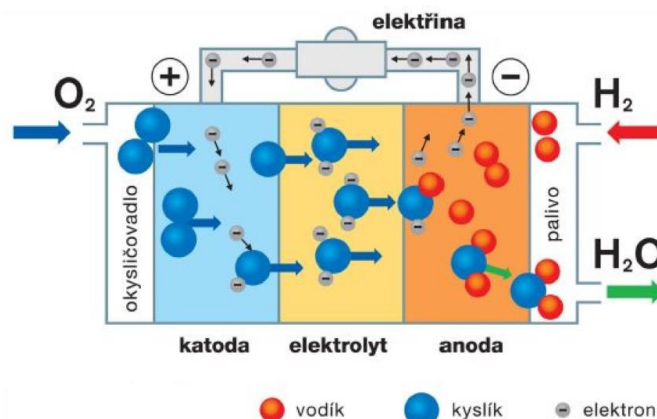
Obrázek 7: Automobil s přímým spalováním vodíku Mazda RX-8 Hydrogen [21].

1.1.4 Palivový článek

Koncepce prvního palivového článku se vytvořila v roce 1839, kdy bylo zjištěno, že je možné vyrábět elektrickou energii procesem inverzním k elektrolýze vody. Kvůli nízkému napětí, které dosahovalo 1 V, nebylo použitelné. První úspěšný palivový článek na bázi kyslíku a vodíku byl sestaven roku 1932. V roce 1952 se podařilo sestavit takový, který dosahoval 5 kW výkonu. Další praktické využití spadá hlavně do 60. let 20. století, kdy NASA začala využít palivové články jako zdroj energie pro vesmírné moduly. To způsobilo nastartování intenzivního pokroku ve vývoji v nejrůznějších zemích, jak na univerzitách a laboratořích, tak i v průmyslu [22].

Palivový článek je zařízení, v němž dochází k přeměně vnitřní energie na energii elektrickou, na základě elektrochemických procesů. Základním rozdílem je vytváření elektrické energie přímo chemickou reakcí oproti generátorům, které chemickou energii paliva přeměňují na elektrickou postupně, spalováním a za pomoci mechanického pohybu. Jeho princip fungování se zakládá na dodávání redukčního prostředku, respektive paliva a oxidačního prostředku kontinuálně zvenčí. Tímto způsobem zajišťuje neomezenou energii pro elektromotor automobilu. Vozidlo s palivovým článkem za krátkou dobu natankuje palivo, například vodík, methanol nebo etanol, které mu vystačí po dlouhou dobu jízdy, jako u spalovacích motorů. Oproti spalovacím motorům je palivový článek dvojnásobně účinnější. Emise škodlivé ovzduší zanikají, jelikož chemický proces palivového článku generuje čistou nezávadnou vodu [22].

Palivový článek používá dvě elektrody oddělené elektrolytem. Anoda přijímá vodík a katoda kyslík. Nabitě kladné vodíkové ionty a elektrony rozděljuje katalyzátor na anodě. Elektrolytem k anodické části migruje ionizovaný kyslík, kde se slučuje s vodíkem. Princip této funkce je znázorněn na obrázku 8. Obvykle, když je připojený na pracující elektrický obvod, tzv. zátěž, velikost napětí se pohybuje od 0,6 do 0,8 V. Takové napětí není v mnoha průmyslových odvětvích dostačující. Pro dosažení vyššího napětí řadíme články do série [23].



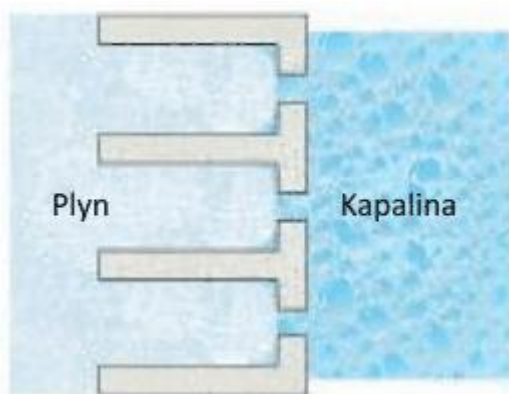
Obrázek 8: Princip funkce palivového článku [24].

Princip transformace je v každém palivovém článku stejný, liší se materiály elektrod, použitým elektrolytem, pracovní teplotou a konkrétními reakcemi na anodě a katodě. K redukci oxidličovadla a elektrochemické oxidaci paliva dochází v místě třífázového rozhraní. Dvěma elektrony se molekulární kyslík, který je přiváděn na katodu palivového článku, redukuje na kyslíkový anion a je transportován elektrolytem k anodě. Přivedený vodík na anodě redukuje s kyslíkovým aniontem za vzniku vody. Elektrický proud vzniká z uvolněných elektronů, které jsou vedeny z anody na katodu. Počet elektronů se může lišit podle reakce jiných paliv [22].

1.1.4.1 Třífázové rozhraní na elektrodě

Elektroda je rozhodující součástí palivového článku, která zajišťuje jeho správné činnosti. Na katodické vrstvě elektrody probíhá elektrochemická reakce. Tvar, velikost, složení, kvalita materiálu, napětí na článcích včetně jeho účinnosti a dalších provozních vlastnostech určují celkový výkon palivového článku [25].

Elektroda vyvolává reakci mezi palivem, oxidličovadlem a elektrolytem, které se nazývají reaktanty, aniž by se účastnila sama reakce nebo korodovala, pouze ji vlivem katalyzátoru urychluje. Musí umožnit kontakt tří fází, plynného reaktantu, kapalného elektrolytu a pevné elektrody a zároveň musí být elektrickým vodičem. Existuje několik metod stabilizace rozhraní kapalina – plyn. Všechny jsou založeny na kapilárním efektu. Pórovitá elektroda umožňuje kapalině vzlínat malými póry, zatímco tlak plynu ji nedovoluje vnikat do větších pórů, viz na obrázku 9 [22, 25].



Obrázek 9: Schématický řez pórovitou elektrodou [24].

Dosažení sloučení dvou fází může být dosaženo několika způsoby. Elektrolyt vytváří na vnitřním povrchu elektrody tenký smáčivý film. Reagující plyn, který je obtížně rozpustný v elektrolytu, difunduje skrz film až dosáhne povrchu elektrody, kde dochází k reakci kapaliny a plynu. Struktura elektrody se vytváří tak, aby plocha smáčivého filmu byla maximální [22, 25].

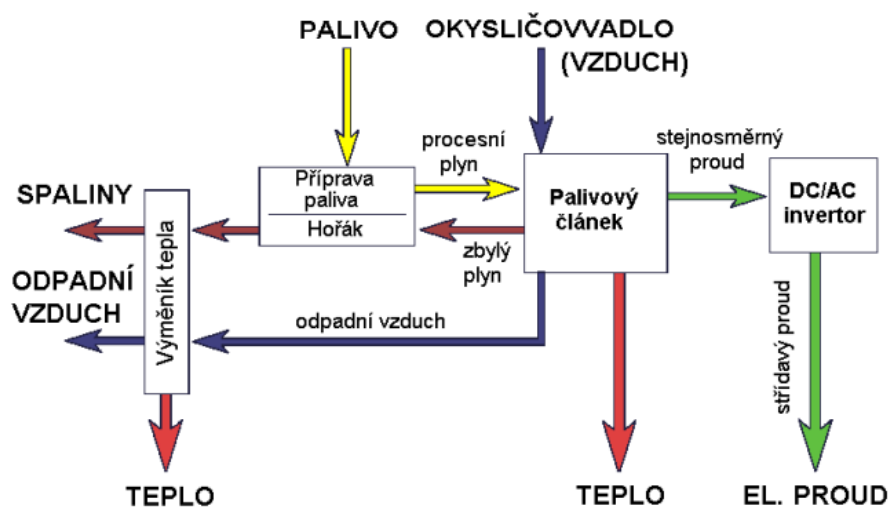
1.1.4.2 Palivo v palivových článkách

Čistý vodík je nejvyužívanějším palivem v palivových článkách, který může přímo reagovat a tím vyrábět elektrický proud. Vodík nemusí být vhodný pro všechny aplikace palivových článků, a proto je věnována pozornost nepřímým palivům, ze kterých je vodík uvolňovaný reformovacím procesem. Nepřímé zdroje, které obsahují vodík, jsou zemní plyn, methan, methanol, ethanol a čpavek. Využívá se vodní pára nebo parciální oxidace k reformování těchto zdrojů, při tom za vysokých teplot vzniká vodík s oxidy uhlíku [22].

Jelikož vzniká CO, a ve většině palivových článků se používá katalyzátor na bázi platiny, musí se po reformování odstranit CO, protože způsobuje otravu katalyzátoru. Současné kapalné pohonné hmoty do spalovacích motorů se považují za potenciální nepřímá paliva do palivových článků. Dalším významným nepřímým palivem s vysokým potenciálem je kapalný methanol, se kterým již byla vytvořena řada prototypů palivových článků, kde je využíván jako přímé palivo bez potřeby reformování [22].

1.1.4.3 Funkční schéma systému

Funkční systém se skládá z více zařízení než jen z palivových článků. V principu sestává ze tří základních podsystémů, schematicky vysvětleno na obrázku 10, kde je popsán systém přípravy a reformingu paliva souboru palivových článků a invertoru elektrického proudu [26].



Obrázek 10: Schéma jednotky s palivovým článkem [26].

Pokud přírodní palivo není čistý vodík musí se upravit pro použití v palivovém článku. Může obsahovat síru, kterou je zapotřebí odstranit, protože by způsobovala degradaci elektrod. Následuje proces reformingu paliva. Vodíkově bohatý procesní plyn se přivádí na anodu palivového článku. Teplo, které vzniká při elektrochemické reakci, je potřeba odvádět, je možné ho využít, ale závisí na provozní teplotě článku. Palivový článek dokáže vyrábět stejnosměrný proud, který se může v invertoru přeměnit na střídavý proud s požadovanou frekvencí a napětím. Hořák, který je součástí systému reformingu

paliva, spaluje palivo, které nezareagovalo v palivovém článku. Tímto se získává teplo potřebné k reformnímu procesu. Zařazení dalšího tepelného výměníku je možné využít k odpadnímu teplu v závislosti na teplotě spalin. Systém na obrázku 10 platí pro všechny typy palivových článků. Konkrétní řešení, konstrukce, uspořádání a specifikace celého systému je závislé na vlastnostech a požadavcích jednotlivých druhů palivových článků, pracovní teplotě a použitému palivu [26].

Mezi výhody palivových článků patří:

- vysoká účinnost energetické transformace v důsledku přímé přeměny chemické energie paliva na energii elektrickou;
- možnost konstruovat palivové články v širokém rozmezí výkonů při takřka stejné účinnosti;
- nižší emise o jeden až dva řády oproti ostatním technologiím spalování fosilních paliv;
- dlouhé periody mezi občasnými poruchami;
- možnost použití množství různých plynných paliv po úpravě;
- nehlukný provoz v důsledku absence pohyblivých částí [26].

Jeho nevýhody jsou:

- citlivost k některým příměsím v palivu, případně v okysličovadle;
- vysoké investiční náklady;
- příliš nízká životnost;
- účinnost klesá s dobou provozu [26].

1.1.5 Typy palivových článků

V dnešní době dělíme palivové články do několika základních typů, které se především liší druhem elektrolytu a provozní teplotou. Z toho důvodu je odlišné konstrukční provedení, princip provozu a přípravy paliva [22].

Palivové články se dělí podle provozní teploty na:

- nízkoteplotní 60-130 °C;
- středněteplotní 160-220 °C;
- vysokoteplotní 600-1050 °C.

Podle typu elektrolytu se dělí na palivové články s:

- polymerní elektrolytickou membránou (PEMFC);
- alkalickým elektrolytem (AFC);
- kyselinou fosforečnou (PAFC);
- taveninou alkalických uhličitánů (MCFC);
- pevným oxidickým elektrolytem (SOFC) [22].

Z toho vyplývají i odlišné elektrochemické reakce v palivových článcích zobrazených v tabulce 1.

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

Tabulka 1: Přehled elektrochemických reakcí [22].

Rozdělení palivových článků na jednotlivé typy a přehled některých jejich základních odlišností je uvedený v tabulce 2.

Typ článku	Provozní teplota[°C]	Palivo	Okysličovadlo
PEMFC	80-120	H ₂ , methanol ¹	O ₂ ze vzduchu
AFC	70-220	H ₂	O ₂ ²
PAFC	170-200	H ₂ , zemní plyn ²	O ₂ ze vzduchu
MCFC	600-700	H ₂ , CO, zemní plyn ³	O ₂ ze vzduchu
SOFC	650-1000	H ₂ , CO, zemní plyn ³	O ₂ ze vzduchu

Tabulka 2: Charakteristika jednotlivých typů palivových článků [22].

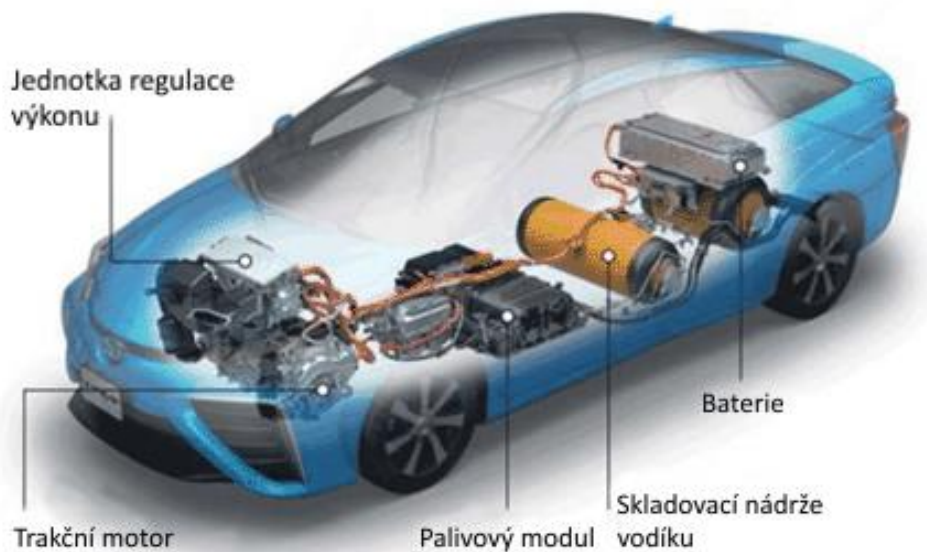
¹ Vnější reforming

² CO₂ < 50ppm (způsobuje otravu KOH)

³ Vnitřní reforming

1.1.6 Vlastnosti a konstrukce automobilu s palivovým článkem

Automobil s palivovým článkem funguje na stejném principu jako elektromobil, liší se pouze ve stylu vyrábění elektřiny pro elektromotor automobilu. Konstrukce je náročnější z hlediska prostoru automobilu, protože samotný palivový článek je srovnatelně velký jako elektromotor a pro jeho funkci je nezbytný vodík, který je uložený ve vodíkové nádrži. Z důvodu nízké hustoty vodíku musí být vodík stlačován na 350 až 700 bar, ale i tak je objem nádrže 120 l a dosahuje až 100 kg, aby byl vodíkový automobil konkurence schopný s dojezdovou vzdáleností jako nynější spalovací motory. Dalším prvkem musí být akumulátor, jelikož palivový článek není schopný nárazově poskytnout velké množství energie, například při rozjezdu či předjíždění. Vodíkový pohon má v současnosti přednost v rychlém tankování, které by ale mělo být v budoucnosti eliminováno vývojem nových generací elektromobilů a nabíječek. Na obrázku 11 je zobrazený automobil s vodíkovým palivovým článkem neboli palivovým modulem, který využívá jen elektromotor, oproti obrázku 12, kde je zobrazený automobil se spalovacím motorem a zároveň s elektromotorem, kterému dodává energii palivový článek [27-29].



Obrázek 11: Automobil s palivovým článkem Toyota Mirai [30].



Obrázek 12: Automobil se spalovacím motorem a palivovým článkem VW Golf Variant HyMotion [28].

1.2 Elektromobilita

1.2.1 Elektřina a její infrastruktura

Všechny látky v sobě obsahují elementární kladné a záporné elektrické náboje. Když jsou náboje v rovnováze nijak se na venek neprojevují. Pokud porušíme jejich rovnováhu, vznikne energetické pole, které se projeví silovými účinky. K energetickým projevům dochází při pohybech elektrických nábojů. Většina technických zařízení pracuje pomocí působení elektrického proudu. Elektrická energie se získává přeměnou mechanické, tepelné, světelné energie anebo využíváním chemických procesů. K výrobě nejčastěji slouží generátor, méně časté jsou mokré a suché články, akumulátory, termočlánky, fotočlánky a další zařízení [31].

Elektrické náboje jsou obsaženy v částicích, z kterých se skládají atomy, stavební kameny všech látek. Každý atom se skládá z jádra a obalu, přičemž jádro obsahuje protony a neutrony a obal je složený z elektronů. Nositelé elektrického náboje jsou protony a elektrony, neutrony jsou elektricky neutrální. Domluvený vztah vědci je takový, že náboj v protonu se označuje jako kladný a náboj v elektronu jako záporný. Velikost elektrického náboje protonu a elektronu je shodná a liší se pouze polarita. Hodnota elektrického náboje atomu představuje součet těchto základních nábojů [31].

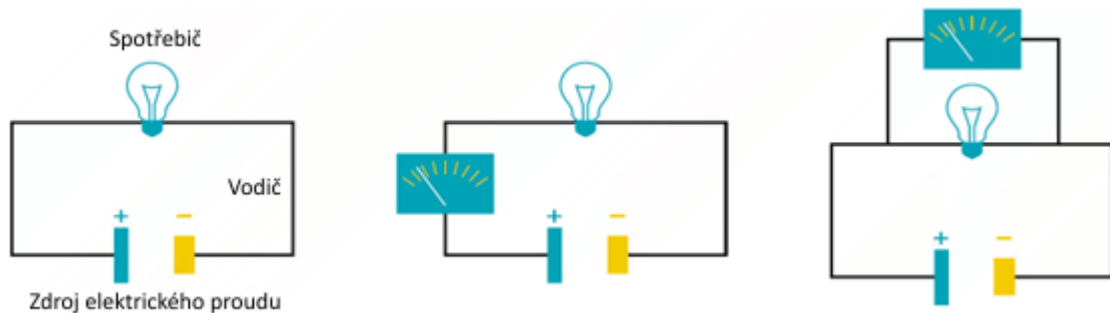
Množství protonů a neutronů je důležitým aspektem z hlediska elektrického náboje ve zkoumané látce. Pokud se množství protonů a elektronů rovná, jsou tyto atomy elektricky neutrální, v okolním prostředí se elektrický náboj nijak neprojevuje. Totéž platí, jestliže je v atomech látky menší počet elektronů než protonů, látka je nabitá kladně. Situace je odlišná když, při stejném počtu elektronů a protonů se vyskytují v látce navíc volné elektrony, taková látka je nabitá záporně. Elektricky vodivé látky neboli vodiče se

snadno zbavují elektronů, což jsou například kovy. Látky, které jsou z pohledu zbavování volných elektronů stabilní, se nazývají nevodivé, což jsou například sklo, ebonit, síra, jantar a také plasty [31].

Elektrony se mohou pohybovat různými látkami, ale také uvnitř jednoho předmětu. Pokud je v tělese více elektronů než protonů, dojde k jevu takovému, že volné elektrony se vzájemně odpuzují, až se vytlačí na okraj předmětu a rozmístí se rovnoměrně po povrchu. Pokud k vodivému tělesu umístíme blízko jiné vodivé těleso dojde také k přemístění elektrických nábojů. Na povrchu, který je přivrácený k elektricky nabitému tělesu, se soustředí opačný náboj a na povrchu odvráceném od nabitého tělesa náboj s ním shodný. Obě tělesa se navzájem přitahují, tento jev se nazývá elektrická indukce [31].

Pohyb elektrických nábojů se může vyvolat připojením vodiče na zdroj elektrického proudu. Pokud připojíme jeden konec železného drátu na kladný pól zdroje a druhý konec na záporný pól zdroje, dojde k pohybu elektronů od záporného ke kladnému pólu. Elektrony jsou tedy nosiči elektrického proudu [31].

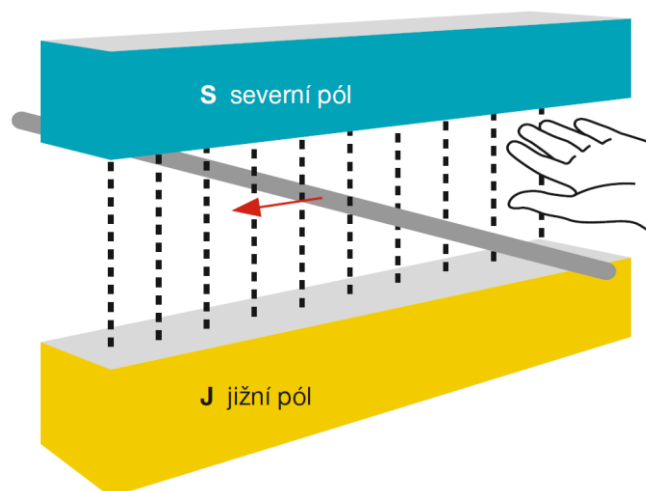
Elektrický proud může vzniknout jen v uzavřeném elektrickém obvodu, jehož základními prvky jsou zdroj elektrického napětí, spotřebič a vodič. Elektrický proud lze měřit ampérmetrem, který se zapojuje kdekoli do série s těmito základními prvky. Elektrické napětí vzniká mezi kladným a záporným pólem zdroje a lze jej měřit voltmetrem, který se připojuje paralelně se spotřebičem či zdrojem elektrického proudu. Obrázek 13 schematicky vysvětluje elektrický obvod se spotřebičem, respektive žárovkou, kde lze měřit pomocí ampérmetru elektrický proud a pomocí voltmetru elektrické napětí [31].



Obrázek 13: Elektrický obvod (vlevo), sériové zapojení ampérmetru (uprostřed), paralelní zapojení voltmetru (vpravo) [31].

Vodič, kterým protéká elektrický proud, kolem sebe vytváří magnetické pole, které je podobně jako pole elektrické jednou z forem projevů hmoty. Magnetické pole může existovat nezávisle na vodiči. Pokud vodičem protéká elektrický proud, síla magnetického pole působí na tento vodič. Magnetické pole se vyznačuje pomocí siločar, které jsou obdobou elektrických siločar a směřují od severního pólu k jižnímu pólu. Pokud se elektrický vodič začne pohybovat v magnetickém poli tak, že se protínají magnetické indukční čáry, viz obrázek 14, vzniká na koncích vodiče indukované elektrické napětí. Je-li vodič zapojený v elektrickém obvodu, protéká jím elektrický proud. To je důsledek

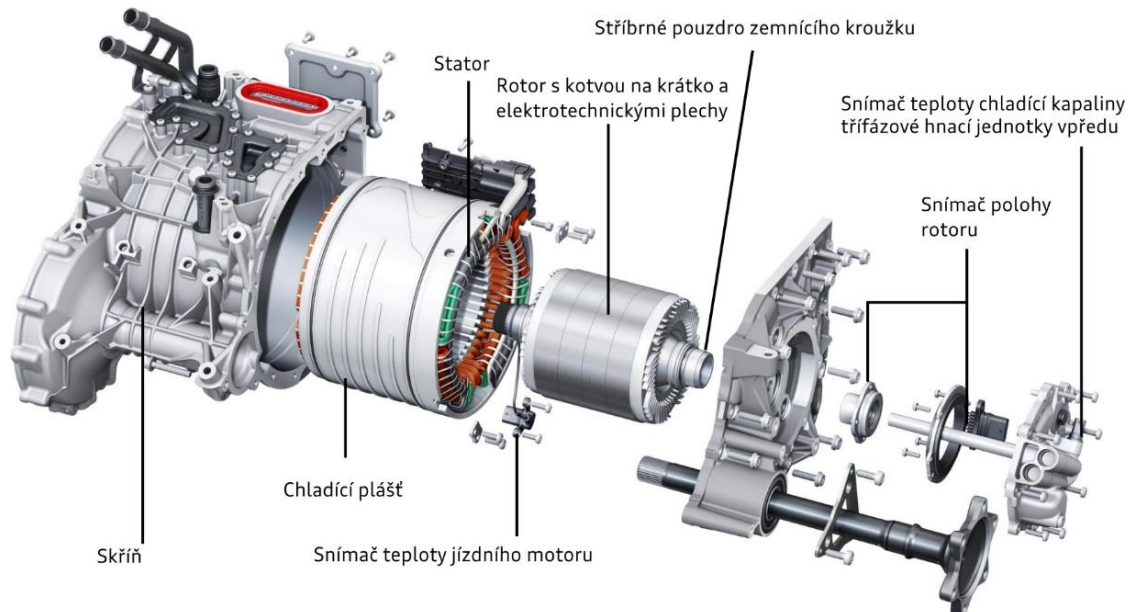
vzájemného silového působení elektrického a magnetického pole, který se nazývá elektromagnetická indukce, kde platí, že čím rychleji se vodič v magnetickém poli pohybuje, tím je indukované napětí větší. Využití elektromagnetické indukce je rozsáhlé, například střídavý elektrický proud, který dodává energie veškerému průmyslu a domácnost, je vyrobený v elektrárnách, kde většina vyrábí elektrický proud pomocí elektromagnetické indukce [31].



Obrázek 14: Vodič v magnetickém poli [31].

Elektrická energie se získává přeměnou jiného druhu energie. Pro výrobu elektrické energie se používají elektrické stroje využívající mechanickou energii, ale lze také použít chemickou, světelnou a tepelnou energii. Elektrická energie se vyrábí v elektrárnách, které pracují na principu získávání energie z tepla, nazývají se tepelné elektrárny a jako zdroj energie využívají fosilní paliva, které se spaluje v kotli. Další rozsáhle zastoupení mají jaderné elektrárny, které získávají teplo štěpením uranového paliva v místě reaktoru, ale jinak pracují na stejném principu jako tepelné elektrárny. Elektrickou energii lze také získávat vodními, slunečními a větrnými elektrárnami, které ve světě ale nemají takové zastoupení [31].

Síť elektrického vedení propojuje všechny velké jaderné, tepelné, vodní a další elektrárny a přepravuje velké energetické výkony přenosovou soustavou o napětí 400 kV a 220 kV do napájecích uzlů a následně po transformaci na nižší napětí 110 kV nebo 22 kV přepravuje elektrickou energii distribuční soustavou až k odběratelům, tedy do továren a měst, kde se napětí další transformací sníží na 400 V, které již například je přivedeno do domovního rozvaděče 5-ti žilovým kabelem se třemi fázemi, nulovým vodičem a ochranným vodičem, kde se dále rozvětňuje na jednofázové vedení, které má napětí 230 V a je nejvíce využíváno běžnými domácími spotřebiči připojitelnými do klasické domovní zásuvky. Elektrická vedení jsou konstruována v různých provedeních. Hlavními rozdíly jsou izolace kolem vodiče a jeho použitý materiál. Volbu správného typu vedení ovlivňuje řada faktorů, mezi které patří velikost napětí, přenášený proud, úbytek napětí, zkratové proudy apod. Dále se přihlíží ke konstrukčním, ekonomickým



Obrázek 16: Konstrukce hnacího agregátu elektromobilu s asynchronním elektromotorem [34].

Základem činnosti třífázového asynchronního motoru je vytvoření točivého magnetického pole, které vznikne průchodem střídavého trojfázového proudu vinutím statoru. Toto magnetické pole indukuje v rotoru napětí a vzniklý proud vyvolává sílu otáčejícím rotorem. Vzniklé otáčky motoru jsou závislé na kmitočtu elektrického proudu odebíraného z distribuční sítě a počtem pólů třífázového motoru. Rotor se nikdy nemůže pohybovat stejnou rychlostí jako magnetické pole statoru. Kdyby rotor dosáhl stejných otáček jako magnetické pole přestali by se vůči sobě pohybovat a tím by se neindukovalo napětí a nevznikala by točivá síla. Míra rozdílu otáček rotoru a magnetického pole se nazývá skluz. Každý třífázový asynchronní elektromotor může za určitých podmínek pracovat jako asynchronní generátor. Příkladem generování elektrické energie do distribuční soustavy by rotor musel překonat otáčky jmenovité, tzv. roztočit rotor více než magnetické pole statoru. Nejvíce využívaný asynchronní generátor na výrobu elektrické energie je v malých vodních elektrárnách a ve větrných elektrárnách [32].

Princip jednofázových asynchronních elektromotorů je v podstatě shodný s třífázovým. Liší se pouze v dosažení točivého magnetického pole ve statoru, který je nutný pro rozběh motoru. Jeho stator obsahuje vinutí hlavní fáze a pomocné fáze, která se nazývá rozběhová a slouží k roztočení motoru na jmenovité otáčky, poté se samočinně odpojí [32].

1.2.2.2 Synchronní elektromotory

Mezi hlavní součásti synchronního elektromotoru se řadí stator a rotor jako u asynchronního elektromotoru. Stator synchronního elektromotoru se neliší od asynchronního, je složený z elektrotechnických od sebe vzájemně odizolovaných plechů síly 0,5 mm s drážkami na vnitřní straně. Třífázové vinutí je izolovaně uloženo v drážkách

a vyvedené na svorkovnici. Rotor je tvořený z magneticky měkké oceli, dělíme ho na rotor hladký, který má vyfrézované drážky a v nich uložené stejnosměrné vinutí, a rotor s vyniklými póly, který má k rotoru přišroubované pólové nástavce a na nich stejnosměrné vinutí [32-33].

Stator synchronního motoru je napájen třífázovým proudem. Vzniklý proud vytváří ve statoru točivé magnetické pole stejné jako u asynchronního elektromotoru. Rotor se roztočí rychlostí jako u asynchronního motoru, poté se do jeho vinutí připojí buzení stejnosměrným proudem, jehož příčinou je vběhnutí rotoru do synchronních otáček. Stejnosměrného magnetického pole vytvořeného v rotoru sleduje statorové točivé pole. Nesmí dojít k přetížení motoru, jelikož zbrzdění motoru způsobí vypadnutí ze synchronních otáček a dojde k úplnému zastavení, poté by se musel znovu roztočit například asynchronním motorem a opakovat nabuzení rotoru a vnik do synchronních otáček [32].

Synchronní motory se využívají pro pohony velkých výkonů. Střední a malé výkony začaly být využívány v době, kdy se do nich začaly aplikovat permanentní magnety ze speciálních slitin. Využívají se v servopohonech, v automobilech, v automatizaci a dalších zařízeních. Na obrázku 17 se nachází konstrukce se synchronní elektromotory použitými v elektromobilu Hyundai Ioniq 5, které jsou zkonstruované s permanentními magnety [32, 35].

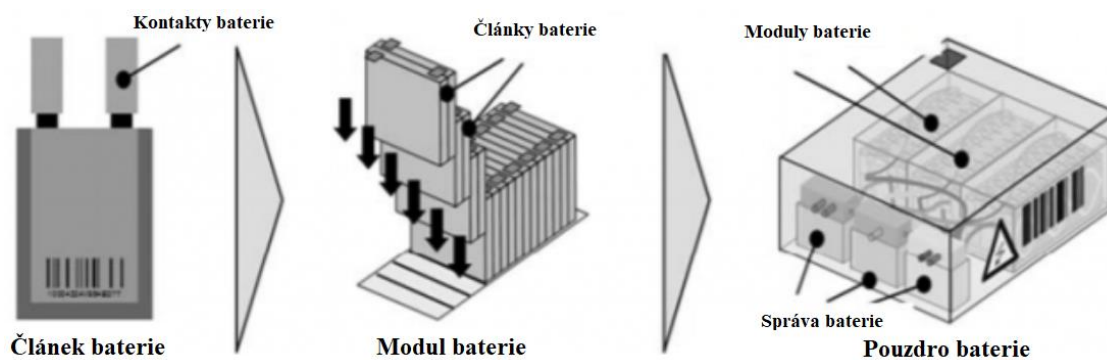


Obrázek 17: Synchronní elektromotory s permanentními magnety použité v elektromobilu Hyundai Ioniq 5 [35].

1.2.3 Baterie elektromobilu

Elektromobil využívá k napájení elektromotorů a dalších elektronických prvků baterii. Z principu funkce jsou zde využívány akumulátory, jelikož se ale ujal a zavedl ve specifikacích elektromobilů výraz baterie, je dále v textu využíván právě tento výraz. Baterie jsou složeny z bateriových článků, ze kterých vznikají bateriové moduly, které tvoří

jeden souvislý balíček, respektive pouzdro, viz obrázek 18. Baterie se skládají ze stovek až tisíců bateriových článků, které jsou spojené sériovým zapojením, za účelem zvýšení napětí, a také v paralelním zapojení, aby se zvýšila kapacita energie, tzv. odebíraný proud se dělí mezi jednotlivé série. Každý bateriový článek má mezi 1-4 V, v závislosti na chemickém složení, a dělí se na válcové, hranolové a pouzdrové. Skládají se do bateriových modulů, které vytvářejí stavební bloky každé baterie. Důvodem uspořádání je snazší výroba, instalace, management a údržba. V případě potřeby mohou být jednotlivé moduly vyměněny a při vzniku požáru pomáhá toto uspořádání ke snížení rychlosti jeho šíření. Bateriové moduly obsahují chladicí jednotku, snímač teploty a napětí odesílající informace do systému řízení baterie, který reguluje optimální stavy baterie a jejího dobíjení včetně varovných signálů upozorňující obsluhu na stavy baterie, také obsahují spínací a další komponenty, které se starají o správnou distribuci elektrického napětí a proudu. Toto zařízení zajišťuje dosažení rovnoměrného nabíjení a vybíjení jednotlivých článků, což se pozitivně odráží na životnosti celé baterie [36].



Obrázek 18: Článek baterie (vlevo), modul baterie (uprostřed), pouzdro baterie (vpravo) [36].

Baterie elektromobilů musí být uvedeny do určité rovnováhy mezi hmotností a velikostí baterie. Z tohoto důvodu se uvádí jejich měrná energie či hustota energie. Dalším důležitým údajem je počet cyklů nabití a vybití, během kterých si baterie zachová své vlastnosti. Obvykle vydrží 1000-1500 cyklů, ale již jsou na trhu baterie s výdrží až 7000 nabití. Tento údaj znamená celkovou životnost baterie v elektromobilu. Výrobci baterií do elektromobilů udávají poměr mezi cenou a jednotkou energie. V roce 2010 bylo 1100 USD/kWh, v roce 2019 156 USD/kWh a v roce 2024 by měla být překročena hranice 100 USD/kWh, tento pokles se dosahuje větší účinností baterie, vyšší energetickou hustotou a výkonnější výrobní postupy. Právě klesající pořizovací cena baterií by mohla investici elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem brzy vyrovnat. Olověné baterie mají dojezdovou vzdálenost 30-80 km, niklové až 200 km a lithiové, které u elektromobilů převažují, mají 320-480 km. Dalším prodloužením o 10-15 % v běžném městském provozu a až 50 % v extrémních podmínkách, dojezdové vzdálenosti je funkce rekuperačního brzdění, které dokáže energii z brzdění převést zpět do baterie a poté využít [36].

1.2.3.1 Nabíjení

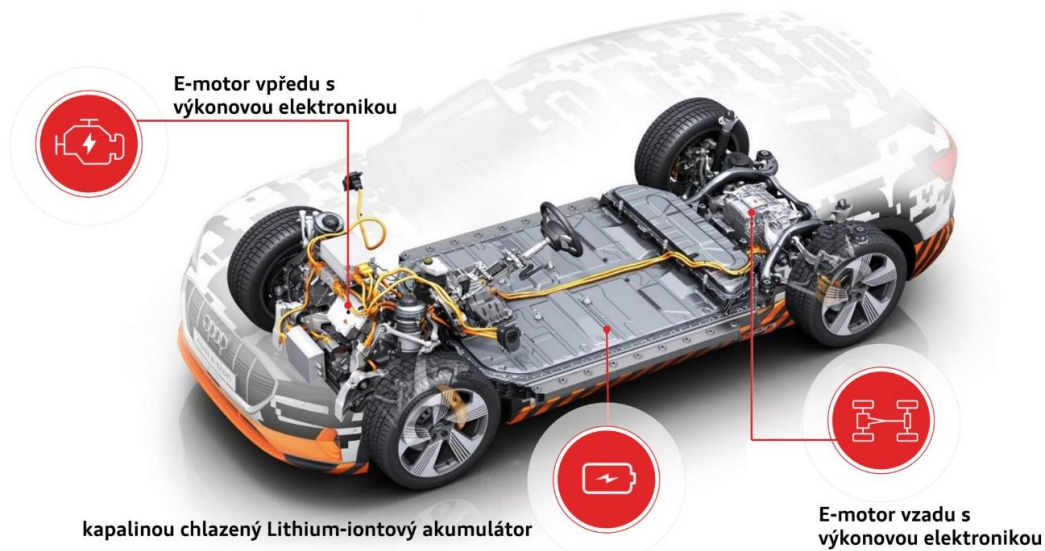
Existuje několik možných způsobů nabíjení elektromobilů, které se dělí na přímou výměnu baterií, bezkontaktní nabíjení a kabelové nabíječky, které se v současnosti výhradně používají k dobíjení elektromobilů. Dělí se na střídavé a stejnosměrné podle proudu tekoucího kabelem. Nabíječka podporuje další řadu funkcí jako jsou korekce účinníku, bezpečnost nabíjecího procesu, komunikace s vozidlem, měření odebrané energie. Nejmenší výkon mají domácí nabíjecí stanice, kde se doba nabíjení pohybuje v řádu hodin. U veřejných parkovacích míst se můžou nacházet pomalé nabíjecí stanice, které nabíjí elektromobil v řádu několika hodin nebo rychlé nabíjecí stanice, které dokážou dobít elektromobil pod 1 h. Rychlé nabíjecí stanice mají několik standardů, které se liší uspořádáním konektoru, typem napětí, komunikačním protokolem a dosažitelným výkonem [37].

1.2.4 Vlastnosti a konstrukce elektromobilu

Elektromobil neboli automobil s elektrickým pohonem funguje na principu vzniku chemické reakce v baterii, která je vedena do výkonové elektroniky, kde se upraví napětí a proud pro aktuální potřeby elektrického motoru, kde dojde k vytváření elektromagnetických polí, jejichž interakcí dojde k roztočení hřídele a motoru. Přes jednoduchý jednostupňový reduktor je spojena přímo s koly vozidla. Není potřeba výfukové potrubí, jelikož žádné plyny nejsou produkovány. Oproti spalovacím automobilům je elektromobil jednoduchý stroj s méně složitými zařízeními. Elektrický motor by neměl vyžadovat během života elektromobilu žádnou údržbu. Jeho umístění díky malým rozměrům je variabilní a jednotlivé automobilky ho řeší jinak, může být v přední nebo zadní nápravě, případně můžou být použity dva pro pohon 4x4. Elektrický motor je schopný uvést celé vozidlo do pohybu od nulových otáček, tedy spojka není potřeba setrvačnick ani převodovka, je pouze aplikován stálý převod mezi motorem a koly. Reakce na plyn je téměř okamžitá. Elektrický motor má minimální točivé setrvačné hmoty, navíc není potřeba turbodmychadlo, řazení a podobně. Plyn pouze změní spínací logiku tranzistorů, které jsou schopny spínat 20000krát za vteřinu, a zrychlení se dostaví téměř okamžitě [38].

Negativní vlastností elektromobilů je velikost a hmotnost baterie. Model 3 od Tesly má dojezd 500 km a baterie váží 500 kg. Hmotnost negativně ovlivňuje jízdní vlastnosti, a proto se baterie ukládá co nejbližší k vozovce, aby těžiště elektromobilu bylo co nejnižší a vylepšilo jízdní vlastnosti. Výrobci se snaží snížit hmotnost využitím hliníkovým a kompozitních materiálů pro karoserii a ostatní komponenty elektromobilu. Na rozdíl od vozidla se spalovacím motorem není potřeba měnit olej, vzduchový filtr, palivový filtr, zapalovací svíčky, rozvodný řemen s kladkami a vodním čerpadlem a díky rekuperaci dochází k minimálnímu opotřebení brzdových destiček, ale postupem času začne docházet k degradaci baterie, která se musí poté vyměnit nebo repasovat. Degradace baterie a snížení souvisejícího dojezdu je časově závislá na faktorech jako styl jízdy, teplota okolí, využívání rychlonabíjení a další. Většinou se záruka elektromobilů

na baterie pohybuje do 8 let a najeto do 180000 kilometrů. Baterie jsou vysoce hořlavé, ale benzín a nafta jsou hořlavé také a žádné nebezpečí není lidmi vnímáno. Elektrické soustava v elektromobilu dosahuje 400 V, které je u při dotyku člověka smrtelné. Proti tímto negativem jsou provedeny kabely s vícenásobnou izolací a elektronika v elektromobilu kontroluje takové poškození, při kterém by se napětí dostalo na karosérii vozidla. Na obrázku 19 je nakreslený prostorový model elektromobilu [38].



Obrázek 19: Prostorový model konstrukce elektromobilu [34].

Jedna z variant uložení elektromotoru je vpředu pohánějící přední nápravu, využívají ji mnoho dnešních elektromobilů, například Mini E viz obrázek 20 [39].

- 1 - Nabíjecí zástrčka
- 2 - Servisní odpojení
- 3 - Baterie
- 4 - Stykačová skříň
- 5 - Vysokonapěťový svazek
- 6 - Řídicí modul
- 7 - Výkonová elektronická jednotka
- 8 - Elektromotor
- 9 - Elektrická vývěva
- 10 - Převodovka



Obrázek 20: Mini E s elektromotorem vpředu [39].

Dalším běžným řešením je elektromotor uložený vzadu pohánějící zadní nápravu. Tuto konstrukci lze nalézt například v elektromobilu BMW ActiveE, viz obrázek 21 [39].



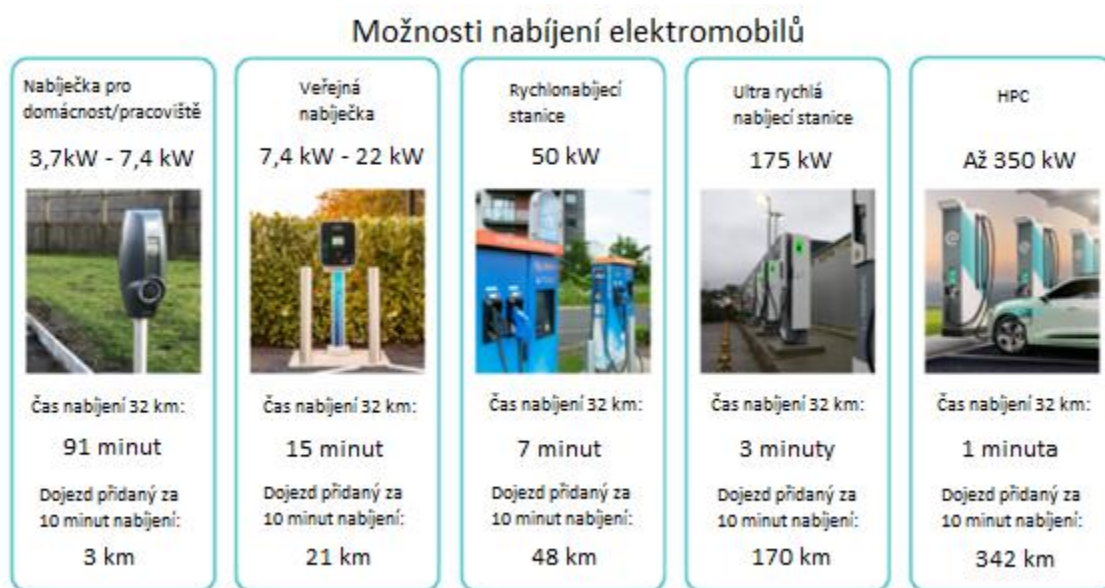
Obrázek 21: BMW ActiveE s elektromotorem vzadu [39].

1.2.5 Specifikace nabíjecích stanic elektromobilů

Elektromobily lze nabíjet dvěma způsoby, buďto střídavým proudem AC anebo stejnosměrným proudem DC. Proud odebraný ze sítě je střídavý. Baterie ale mohou akumulovat energii dodávanou pouze stejnosměrným proudem. Z tohoto důvodu musí být automobil nebo dobíjecí stanice vybavena modulem, který přetransformuje střídavý proud na stejnosměrný. AC nabíjecí stanice jsou obvykle pomalejší v nabíjení elektromobilu, ale nabíjejí stabilněji. DC nabíjecí stanice nabíjejí rychleji, a proto se obvykle řadí mezi rychlonabíjecí stanice. Jelikož u AC nabíjecí stanice se přeměňuje elektrický proud uvnitř vozidla, výkon je omezený velikostí modulu zabudovaného ve vozidle. AC nabíjecí stanice posílá střídavý proud do palubní nabíječky elektromobilu, v takovém množství, jaký je schopná přijmout. Moduly v palubní nabíječce přemění střídavý proud na stejnosměrný a pošlou ho do baterie. Hlavní funkcí AC nabíjecí stanice je zprostředkování nezbytné komunikace s řídicím systémem elektromobilu a zajištění bezpečnosti. Dále sděluje vozidlu, jaký maximální proud může v aktuální době odebírat v závislosti na tom, jak je vytížená elektrická síť. AC nabíjecí stanice tak reguluje odběr vozidla dle aktuálních možností domu či odběrného místa a nedochází tak k přetížení elektrické sítě. Princip AC nabíjení je jednodušší a zpravidla méně náročnější na prostor. Nabíjecí stanici lze umístit do menších prostorů. Wallbox nabíječka je konstruovaná pro umístění do vnitřních prostorů například garáží. V případě DC stanice probíhá přeměna v ní samotné, a proto jsou větší a dražší, ale umožňují nabíjení podstatně větším výkonem. DC nabíjení není směřováno přes palubní nabíječku elektromobilu. Nabíjení tedy není omežováno výkonem palubní nabíječky a probíhá podstatně rychleji. Stejnou směrný proud je posílán přes systém řízení baterie přímo do baterie, přesně podle instrukcí řídicího systému nabíjení ve vozidle. DC nabíjecí stanice také získávají více informací od elektromobilu a poskytují lepší odhad zbývajících doby nabíjení a regulaci dodávaného

elektrického proudu. Všechny tyto faktory mají vliv na celkovou životnost baterie elektromobilu. DC nabíjecí stanice jsou technologicky podstatně složitější a mnohonásobně dražší než AC nabíjecí stanice a vyžadují výkonné odběrné místo elektrické energie [40-43].

Když se na trh začaly uvádět elektromobily, byl silný nedostatek DC nabíjecích stanic. Nejběžnější bylo domácí nabíjení přes běžnou zásuvku. Výrobci elektromobilů proto poskytli větší palubní nabíječky uvnitř elektromobilu. Například Renault Zoe nabíjel až 44 kW bez možnosti DC nabíjení. Při tehdejší kapacitě a velikosti baterie bylo toto řešení celkem vhodné. V současnosti se vyrábějí více autonomní a prostornější elektromobily s většími bateriemi, u nichž postupným vyvíjením nových technologií dochází k navyšování kapacity akumulovaného elektrického proudu. Z tohoto důvodu vzniká čím dál větší poptávka po rychlém nabíjení. Ta má za následek nárůst počtu veřejných DC nabíjecích stanic. V současnosti většina nově zakoupených elektromobilů umožňuje nabíjení AC i DC. Palubní AC nabíječky ve vozidlech jsou stále menší a cenově výhodnější, obvykle v rozsahu 7 kW nebo 11 kW, což vede k nižším pořizovacím cenám elektrických vozidel. Rychlost nabíjení také ovlivňuje výkon, na který je elektromobil dimenzovaný. Pokud je elektromobil vyrobený na výkon 50 kW a nabíjí se dobíjecí stanicí o výkonu 100 kW, nabíjecí výkon nepřesáhne 50 kW, na který je elektromobil dimenzovaný. Obrázek 22 poskytuje přehled různých možností nabíjení elektromobilů a porovnává rychlost vůči dojezdové vzdálenosti u konkrétních typů [40-43].



Obrázek 22: Přehled různých možností nabíjení elektromobilů s porovnáním rychlosti nabíjení vůči dojezdové vzdálenosti [41].

Domácí nebo pracovní nabíjecí stanice se řadí mezi méně výkonné. Pomalé nabíjení se nejčastěji využívá v oblastech, kde mohou řidiči elektromobil nabíjet přes noc nebo osm hodin a déle. Z tohoto důvodu se umísťují v soukromých garážích, v parkovacích prostorech firem, které jsou dostupné zaměstnancům anebo u hotelů či středisek. Veřejné

nabíjecí stanice plně nabijí elektromobil během několika hodin, a proto jsou obvykle umístěny v oblastech, kde řidiči parkují na několik hodin. Jsou to například parkoviště u nákupních center a restaurace. Veřejné nabíjecí stanice jsou spíše AC nabíječky, ale není neobvyklé, že se na těchto místech kombinují AC s DC nabíječkami. Rychlonabíjecí stanice lze použít v mnoha různých situacích. Jsou také instalovány u nákupních center a restaurací. Přibývají také u autosalónů, autobazarů a u čerpacích stanic, což je ideální pro vlastníky elektromobilu s menší kapacitou baterií. Ultrarychlé nabíjecí stanice a vysokovýkonné nabíjecí stanice jsou nejrychlejším způsobem nabíjení elektromobilů. Z tohoto důvodu jsou ideální pro čerpací stanice na rušných dálnicích nebo v blízkosti hlavních silnic, což umožňuje řidičům elektromobilů absolvovat dlouhé cesty. Tyto typy jsou výhradně stejnosměrné a dokážou rychle nabít elektromobil z 0 % na 80 % obvykle za 20 až 40 minut. Kromě instalací na stávajících vhodných prostorách se používají také k vytváření nových míst pro rychlé nabíjení většího počtu elektromobilů na malém prostoru. Instalace obou typů stanic je nejsložitější ze všech. Vyžadují kompletní instalaci řešení včetně pokročilého průzkumu místa předem, vlastní dodávky elektřiny od provozovatele distribuční sítě, instalaci a údržbu [40-43].

1.2.6 Typy konektorů pro nabíjení elektromobilů ve světě

Původně měly elektromobily i v Evropě typ konektoru Typ 1 Yazaki, viz obrázek 23. Aktuálně je již na ústupu a používají se především v Americe a v Asii. Nicméně starší elektromobily a hybridní auta tuto zásuvku mají a jako ostatní vozy si vozí vlastní kabel, případně adaptér, a mohou tedy normálně nabíjet na všech AC stanicích. Hlavní nevýhodou této zásuvky je, že umožňuje využít pouze jednu fázi a nepodporuje automatický systém zamykání [44].



Obrázek 23: Konektor elektromobilu Typ 1 Yazaki [44].

Evropské automobilky používaly konektor Typ 1, dokud nezačaly hledat nové řešení, které by dokázalo využít všechny tři fáze. V roce 2003 byl specifikován nový standart, podle kterého byla vyrobena zástrčka Typu 2 Mennekes, viz obrázek 24. Stala se novým evropským standardem. Jelikož oba typy zástrček využívají ke komunikaci stejný signa-

lizační protokol J1772, tak automobilky mohou vyrábět vozidla stejným způsobem a pouze na závěr instalují takový typ zásuvky, který odpovídá trhu, kde se bude prodávat. Mezi těmito typy existují pasivní adaptéry. Důležitou výhodou Typu 2 je podpora automatického uzamykatelného systému. Konektor Typ 2 je použitelný také jen pro AC nabíjení. Tesla Model S a Model X prodávaný v Evropě má také zástrčku Typu 2 pouze v minimálně pozměněné variantě. Využívají tento konektor také pro síť nabíječek Tesla Supercharger, kde nabíjí pomocí DC proudu [44].



Obrázek 24: Konektor elektromobilu Typ 2 Mennekes [44].

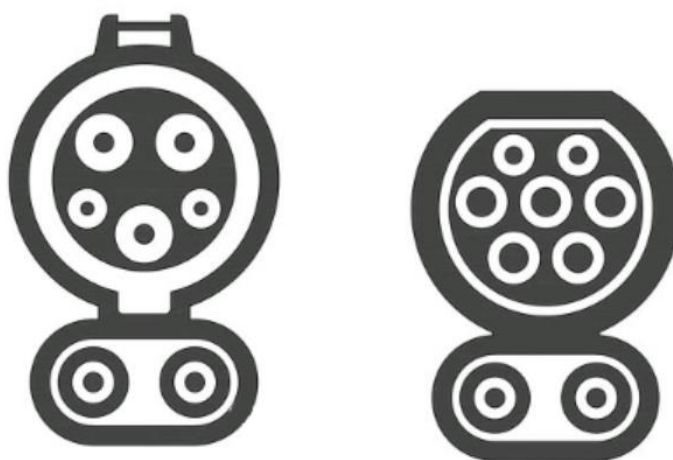
V Číně byla vyvinuta GB/T zástrčka, viz obrázek 25, která se používá pouze zde. V zemi neexistují další typy konektorů, což usnadňuje rozvoj nabíjecí infrastruktury. Konstrukčně je podobná jako zástrčka Typ 2, ale kabely uvnitř jsou uspořádané v obráceném pořadí a nejsou tedy kompatibilní [44].



Obrázek 25: Konektor elektromobilu GB/T [44].

CCS neboli kombinovaný nabíjecí systém je elegantním řešením pro rychlé nabíjení stejnosměrným proudem. Jedná se o původní zástrčky Typu 1 a Typu 2, ke kterým jsou v dolní části přidány další dva kolíky, viz obrázek 26. V případě DC nabíjení fungují tyto dva dolní kolíky a z horní části se nabíjení účastní komunikační pin a zemnicí vodič, který zajišťuje referenční nulový bod pro ochranné systémy. Tyto typy konektorů jsou dimenzované na výkon až 350 kW. V současné době se jedná o nejvyužívanější

typy DC nabíjení. CCS Typu 1 je běžný ve Spojených státech, zatímco v Evropě se používá CCS Typu 2. Jelikož jsou do konektoru přidány pouze dva kolíky, obsahují elektromobily pouze jednu zásuvku, což je výhoda oproti původnímu zavedenému konektoru CHAdeMO, kde musel mít elektromobil vždy dvě zásuvky. Jelikož CCS Typ 1 a Typ 2 používají jiný komunikační protokol, tak nejsou kompatibilní s CHAdeMO nabíjecími stanice a jsou potřeba speciální adaptéry. CHAdeMO je původní DC zástrčka vyvinutá pěti japonskými automobilkami, viz obrázek 27. Od roku 2010 se pokoušely prosadit tento konektor jako globální standart. To se nepodařilo, ale v průběhu let počet nabíječek stoupal. V Evropě se jich nachází 9200. Tento standart postupně zaniká a většina automobilek vyjma japonských a čínských vyrábí elektromobily se standardem CCS [44].



Obrázek 26: Konektory elektromobilu CSS Typ 1 vlevo a Typ 2 vpravo [44].



Obrázek 27: Konektor elektromobilu Typ CHAdeMO [44].

Automobilka Tesla a její modely mají odlišné konektory než jakákoliv jiná značka, viz obrázek 28. To umožňuje zákazníkům Tesly nabíjet na jejich vlastních nabíjecích stanicích, které nelze použít na jiná vozidla. Zároveň ale Tesla nabízí i adaptéry pro ostatní typy zástrček, a tak pro jejich vozy není problém využít nabíjecí stanice s ostatními typy konektorů [44].



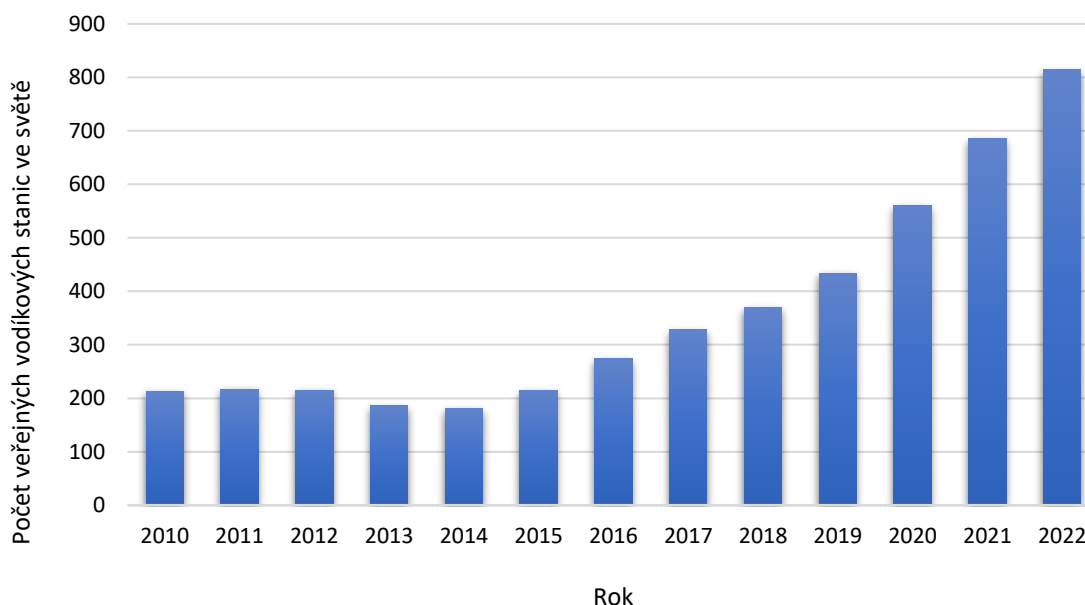
Obrázek 28: Konektor elektromobilu Tesla [44].

2 Praktická část

2.1 Analýza současného stavu vodíkové mobility

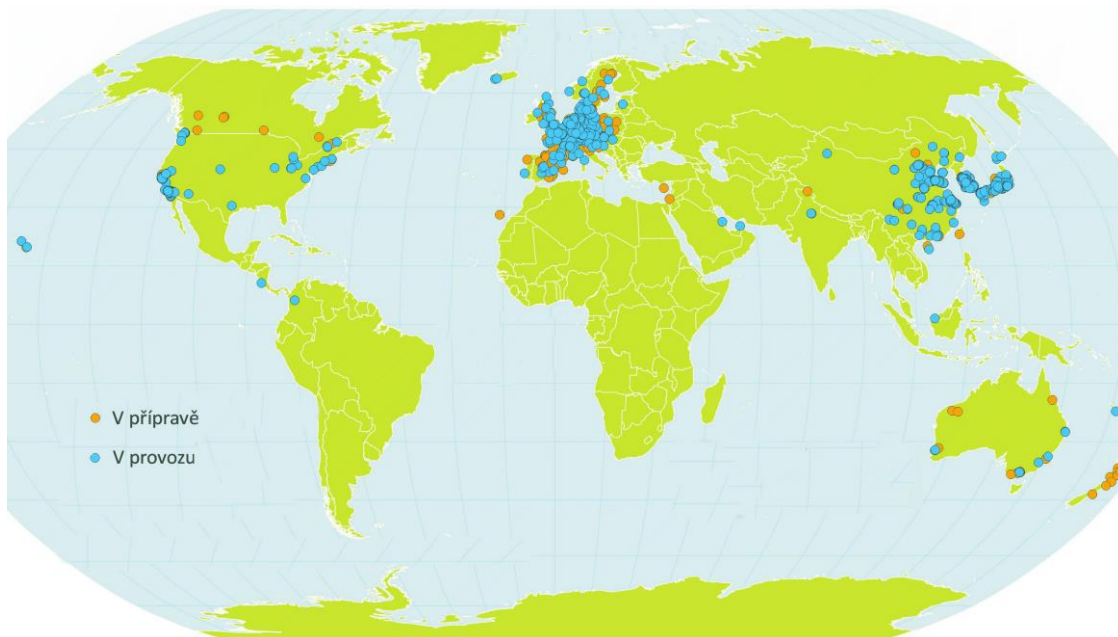
2.1.1 Globální analýza vodíkové mobility

V roce 2022 bylo na celém světě uvedeno do provozu 130 vodíkových čerpacích stanic, z toho 73 v Asii a 11 v Severní Americe. V Evropě bylo otevřeno 45 nových vodíkových stanic. Nejvíce nových otevřených vodíkových stanic za rok z hlediska státu přibýlo v Jižní Koreji. Od roku 2014 přibývá každoročně počet vodíkových stanic. Mezi roky 2019 a 2020 došlo ke strmějšímu růstu vodíkových stanic a tento trend pokračuje do současnosti. Podrobněji je trend uveden v grafu na obrázku 29 [45].



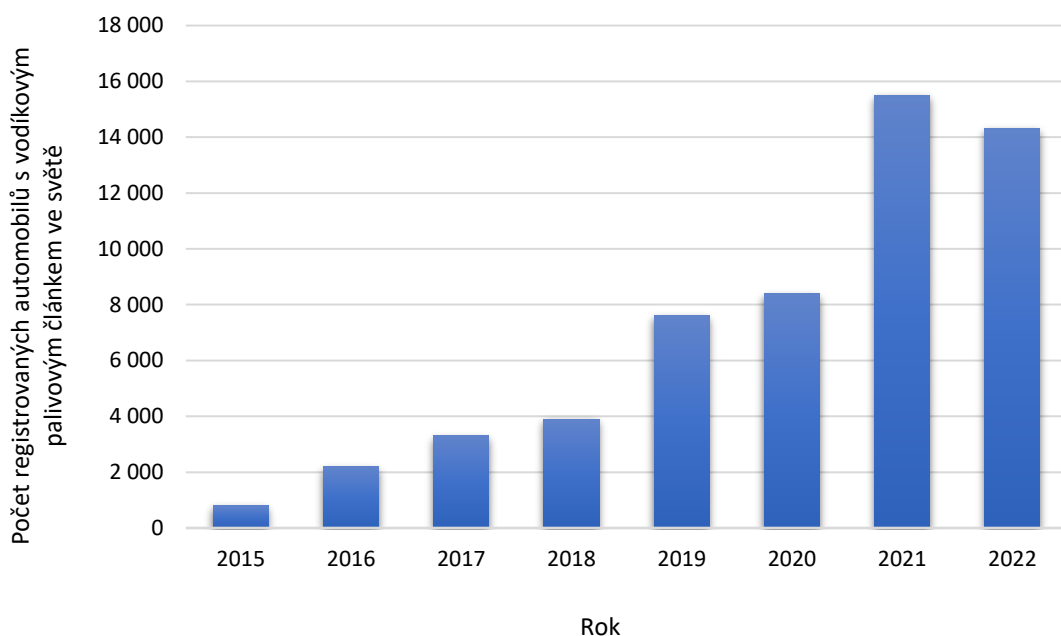
Obrázek 29: Graf vývoje počtu vodíkových plnicích stanic ve světě [46].

Na konci roku 2022 bylo na celém světě v provozu 814 vodíkových čerpacích stanic. Na následující roky jsou připraveny konstrukční plány pro dalších 315 stanic na možné čerpání vodíku. Vodíkový automobil lze doplnit vodíkem ve 37 zemích, nejnověji se na seznam přidaly Kolumbie, Kypr a Izrael. V Evropě poskytuje nejvíce stanic Německo, následuje Francie, Velká Británie, Nizozemsko a Švýcarsko. V Asii se uvádí ke konci roku 2022 v provozu 455 vodíkových stanic, z toho 165 v Japonsku a 149 v Jižní Koreji. V Číně se odhaduje počet stanic na 138. Celosvětově opět vedla Jižní Korea se 45 novými stanicemi a stále více rozšiřuje infrastrukturu pro elektrická vozidla s palivovými články. V roce 2021 přibýlo v Severní Americe 11 nových čerpacích stanic. V Kalifornii je v provozu 70 z celkového počtu 89. Tento stát je těžištěm celého kontinentu. Přehledové rozmístění přítomnosti vodíkových stanic v rámci celého světa je zobrazeno na obrázku 30 [45].



Obrázek 30: Rozmístění vodíkových plnicích stanic ve světě v lednu roku 2023 [47].

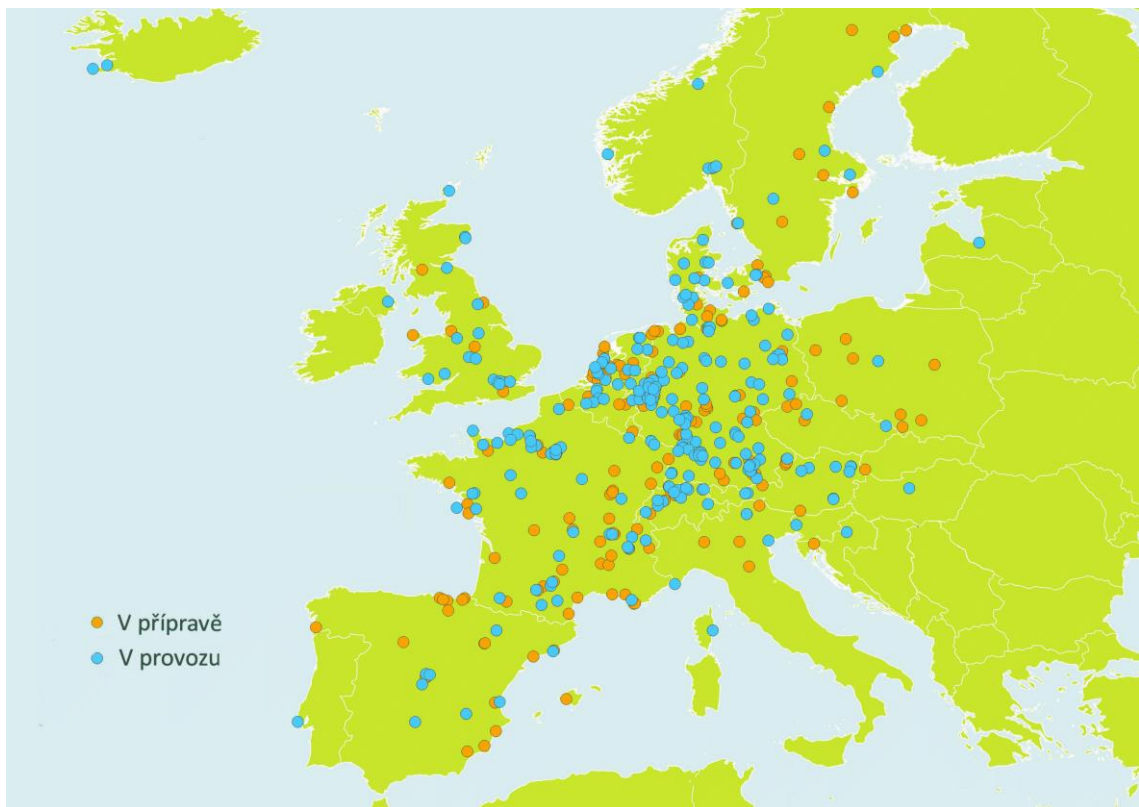
Celosvětově se dosud prodalo přes 56 000 automobilů s vodíkovým palivovým článkem. Graf vývoje prodeje vodíkových automobilů s palivovým článkem od roku 2015 do roku 2022 je zobrazený na obrázku 31. Za roky 2021 a 2022 se prodalo 30 000 z nich, což vyznačuje nárůst prodeje těchto vozidel. Jejich nasazení se nejvíce zrychlilo v Evropě a Asii. V Americe tento typ automobilů nedominuje s výjimkou státu Kalifornie. Více než polovina prodaných vozidel s palivovými články byla v Koreji, jelikož vlastní nejhustší infrastrukturu. Dalšími regiony se silným prodejem těchto vozidel jsou Japonsko a Kalifornie. Nejprodávanějším vodíkovým automobilem je Nexso od společnosti Hyundai. Aktuálním jediným jeho konkurentem je Mirai od společnosti Toyota. Jelikož ale trh nabývá na síle připojují se do vývoje další společnosti jako Honda, BMW, Renault, Volkswagen a Jaguar. V současnosti jsou ale ceny těchto vozidel vysoké a nedostatek silné vodíkové infrastruktury přispívá k nízkým prodejním údajům vůči jiným energetickým typům pro pohon automobilů [48].



Obrázek 31: Graf vývoje počtu automobilů s vodíkovým palivovým článkem ve světě [48-49].

2.1.2 Analýza vodíkové mobility v evropských státech

V Evropě bylo ke konci roku 2022 vybudováno 254 vodíkových stanic. Jejich rozmístění je zobrazeno na obrázku 32. Nejvíce z nich se nachází v Německu, poté ve Francii, Spojeném království, Nizozemsku a Švýcarsku. V Evropě není v současnosti vybudována potřebná vodíková infrastruktura k využívání automobilu s vodíkovým palivovým článkem. Z tohoto důvodu je jejich počet v registrační databázi zanedbatelný vůči ostatním typům paliv automobilů. Na konci roku 2021 bylo v evropských státech zaregistrováno 4050 automobilů s vodíkovým palivovým článkem [45, 50].



Obrázek 32: Rozmístění vodíkových plnicích stanic v Evropě v lednu roku 2023 [51].

Německo je v současnosti stát s nejvíce se rozvíjející vodíkovou infrastrukturou. První pokusy proměnit vodíkové technologie v nový komerční produkt začaly na přelomu 80. a 90. let. Poté došlo k útlumu vývoje po dobu 10 let. V roce 2002 se uskutečnilo politické rozhodnutí, udělat z Německa lídra v oblasti dopravy a dodávek energie z obnovitelných zdrojů. Poté bylo vypracováno několik projektů o zavedení vodíkové mobility, do kterých bylo investováno celkově 2,75 miliardy EUR. Vodíkové čerpací stanice v Německu jsou budovány, koordinovány a provozovány konsorciem různých společností, například Air Liquide, Daimler, Linde, OMV, Shell a TOTAL. Další stanice budou instalovány tam, kde lze v krátkodobém horizontu očekávat poptávku po užitkových vozích a kde bude rostoucí síť vodíku nejvíce využívána. K datu 8.3.2023 se nachází v Německu 91 veřejných vodíkových čerpacích stanic [52-53].

Francie, Portugalsko a Španělsko se řadí k aktivním státům s využíváním, výstavbou a plány s rozvojem vodíkové infrastruktury. Na konci roku 2022 se tyto státy domluvily na výstavbě produktovodu pro přepravu takzvaného zeleného vodíku z Barcelony do Marseille. Právě Španělsko chce těžit z výroby zeleného vodíku, jelikož má ideální klimatické a geografické podmínky. Obnovitelné zdroje jsou o třicet až čtyřicet procent levnější než v jiných zemích. Severské státy Norsko, Finsko, Švédsko a Dánsko stojí na počátku rozvoje vodíkové infrastruktury. Spolupracují na rozvoji cestování na dlouhé vzdálenosti z Norska přes Švédsko do Dánska a Finska a dále přes Německo do dalších částí Evropy. Víze tohoto projektu je vyrábět zelený vodík na vhodných místech Skandinávie a rozšiřovat ho do vzdálenějších míst. Spojené království, Nizozemsko a Švýcarsko také aktivně buduje nové vodíkové stanice a rozšiřuje možnosti využívání vodíku [54-58].

Rakousko patří v oblasti vodíkové mobility mezi aktivní země. Společně s Německem je sousedním státem ČR, který zahrnul vodíkovou mobilitu do svého vnitrostátního rámce politiky. Koncem roku 2016 mělo Rakousko vybudováno celkem pět plnicích stanic, které jsou zásobovány společností Linde, která vodík získává parním reformingem zemního plynu. V budoucnosti by přímo v místě plnění měla být využita výroba vodíku pomocí elektrolýzy vody. Od roku 2016 se množství vybudovaných vodíkových stanic nezměnilo. Jejich polohy jsou v Innsbrucku, Linci, Štýrským Hradci a dvě ve Vídni [52, 59].

Polsko a Slovensko podle dostupných informací do roku 2016 nezahrnovali vodík do svých vnitrostátních politických rámců. V prosinci 2021 Polsko ve své sbírce zákonů uvedlo vodíkovou strategii, kde se stanovují cíle rozvoje vodíku do roku 2030 a 2040 a zahrnuje i popis plánu na výstavbu vodíkové spojnice mezi severem a jihem Polska. Aktuálně 8.3.2023 jsou v Polsku vybudované dvě veřejné vodíkové plnicí stanice, které se nacházejí ve městě Poznaň a Katowice. Slovensko začátkem roku 2022 otevřelo dvě vodíkové stanice. Jedna z nich zatím slouží pro soukromé účely. U druhé je možné plněním tlakem 200 barů doplnit vodík do automobilu s palivovým článkem. Tento tlak ale není dostačující pro využití celkové kapacity nádrží automobilů s vodíkovým článkem. Zároveň se nejedná se o zelený vodík, jelikož společnost zatím vyrábí vodík z metanu. Další státy v rámci Evropy nejsou tak aktivně zapojeny do výroby, využívání a budování vodíkové infrastruktury [52, 60-62].

2.1.3 Analýza vodíkové mobility v České republice

Česká republika se zapojila do vývoje vodíkových technologií v dopravě. V roce 2009 byl uveden prototyp hybridního autobusu s vodíkovým palivovým článkem. V rámci projektu se také vybudovala vodíková plnicí stanice v Neratovicích. Jedná se o neveřejnou stanici s maximálním možným plnicím tlakem 35 MPa, který je pro sériově vyráběné vodíkové automobily nedostačující. Stanice je plněna vyráběným vodíkem pomocí metody parního reformingu zemního plynu. Vodík je distribuován v tlakových lahvích, do kterých je stlačován. Následně je dovezený kamiónem k vodíkové stanici. V ČR se nacházejí průmyslové podniky, které vyrábějí vodík jako hlavní či vedlejší produkt, který by bylo možné potencionálně uplatnit na trhu. U dálničních sítí v blízkosti těchto firem, by mohly vzniknout vodíkové stanice, kde by se uplatnil snadný dovoz vodíku a tím i jeho nižší cena [52].

Na území České republiky není aktuálně potřebná infrastruktura pro vodíkovou mobilitu. Zároveň se ale ČR nachází mezi státy, kde má být vodíková mobilita zahrnuta a podléhá směrnici, podle které by do 31. prosince 2025 měl být dostupný přiměřený počet veřejných vodíkových stanic pro vodíkovou mobilitu a zároveň stanovuje technické požadavky na plnicí stanice vodíku, čistotu vydávaného vodíku, algoritmy plnění paliva a přípojky. První veřejná vodíková stanice byla zprovozněna 28. 6. 2022 ve Vítkovcích a jedná se o stanici, která má maximální denní výkon 40 kg H² a skladované množství 110 kg H². Stanice je pouze pro osobní vozy s plněním až na 700 barů. Aktuálně stanice je schopna naplnit 8-10 aut denně a při zvětšení kapacity vysokotlakého zásobníku až 40 aut denně. Vodíková stanice zabírá přibližně 90 m² prostoru a její výstavba od vydání stavebního povolení trvala dva měsíce. Celková investice byla zhruba 15 miliónů korun. V současnosti je ve zkušebním provozu a lze si vodíkové vozidlo bez ohledu na objem nádrže natankovat za 2500 korun. Další vodíková stanice, viz obrázek 33, od provozovatele Unipetrol Benzina byla otevřena v Praze 10. 3. 2023. Nachází se v prostoru čerpací stanice na fosilní paliva, které jsou již vybudované. Její maximální denní výkon je 400 kg H² s možností plnění vozidla tlakem 350 nebo 700 barů. Další stanice od této společnosti se realizuje v blízkosti města Teplice, které bude mít totožné specifikace a umístění. Dostupné informace uvádějí její otevření v první polovině roku 2023. Zároveň s touto informací společnost uvádí, že do roku 2030 chce otevřít 28 vodíkových stanic po celém Česku s vizí napojení vodíkové infrastruktury na okolní země. Na obrázku 34 jsou zobrazené dosavadní vodíkové stanice přístupné veřejnosti, z nichž jsou dvě v provozu, jedna se realizuje, šest je v přípravě a tři jsou v záměru, z důvodu blízkosti firem vyrábějící vodík. V ČR jsou vybudované další vodíkové stanice, které ale nejsou všem veřejně dostupné. Většinou se jedná o soukromé firmy, které využívají vodík pro vlastní účely [52, 63-64].



Obrázek 33: Vodíková stanice ORLEN Unipetrol na pražském Barrandově [65].



Obrázek 34: Rozmístění veřejných vodíkových plnicích stanic v České republice [66].

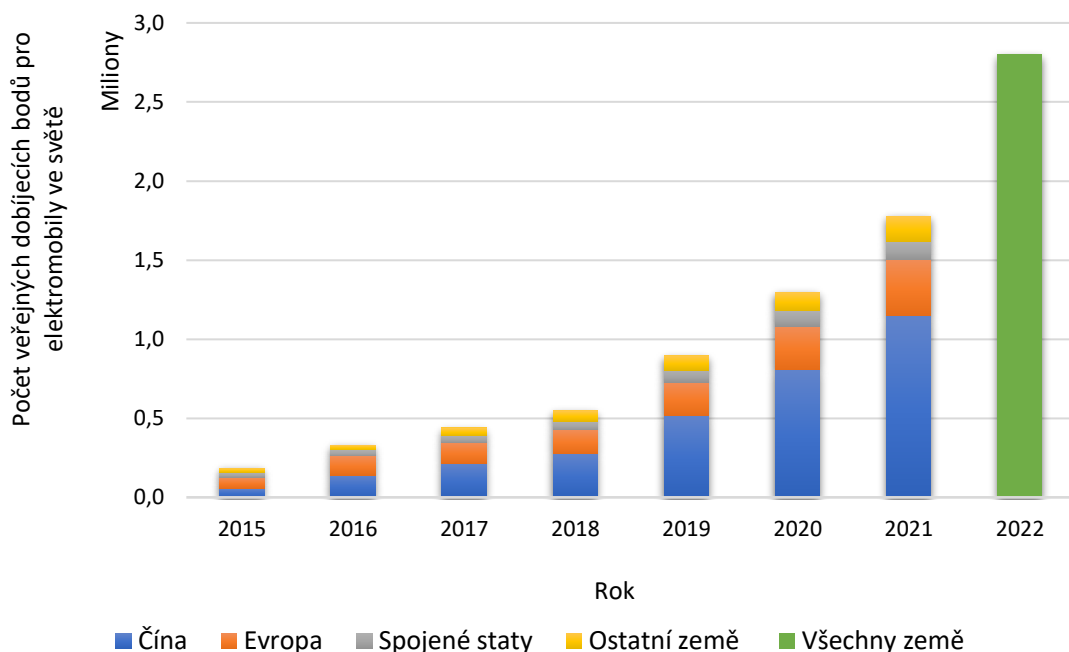
2.1.4 Průzkum vodíkových plnicích stanic v okrese České Budějovice

Průzkum autor práce vykonával jízdou po vlastní ose v rámci okresu České Budějovice ve dnech 8. 3. 2023 a 12. 3. 2023. Bylo zjištěno že, pro využívání automobilu s vodíkovým palivovým článkem není v okrese žádná možnost veřejného doplnění vodíku do automobilu. Po prostudování a nalezení polohových souřadnic vodíkových stanic v okolí okresu České Budějovice, bylo zjištěno že, nejbližším možným místem v České republice, kde doplnit vodík do automobilu s vodíkovým palivovým článkem, je v Praze na stanici ORLEN Unipetrol, která je vzdálená od Českých Budějovic 150 km s průměrným časem dojetí automobilu 1 hodina a 44 minut. Další místo se srovnatelnou délkou trasy je vodíková stanice v Rakousku ve městě Linec, která je vzdálená 109 km s průměrným časem dojetí automobilu 1 hodina a 37 minut. Další dvě vodíkové stanice se nachází ve Vídni v průměru vzdálené 200 km s dojezdovým časem 2 hodiny a 40 minut. Další nejbližší stanice se nacházejí v Německu, buďto na stanici ve městě Mnichov, která je vzdálená 306 km s průměrným časem dojetí 3 hodiny a 47 minut, nebo na stanici ve městě Ingolstadt, která je vzdálená 305 km s průměrným časem dojetí 3 hodiny a 50 minut.

2.2 Analýza současného stavu elektromobility

2.2.1 Globální analýza elektromobility

Trh s elektromobily neustále roste a zároveň s ním roste poptávka po veřejných nabíjecích bodech. Na obrázku 35 se nachází vývoj počtu dobíjecích bodů pro elektromobily ve světě. Světovým lídrem v počtu veřejně dostupných nabíjecích bodů je od roku 2015 neustále Čína. Údaj z roku 2022 na obrázku 35 je přibližná predikce počtu nabíjecích bodů ve všech zemích světa. Přesné údaje v době psaní bakalářské práce nebyly k dispozici. Graf na obrázku 35 obsahuje počet pomalých i rychlých nabíjecích bodů. Mezi pomalé se řadí nabíjecí body, které dobíjí střídavým proudem, většinou méně než 22 kW. Rychlé dobíjecí body nabíjí stejnosměrným proudem v současnosti až 350 kW. V roce 2021 bylo na celém světě 1 777 000 veřejně dostupných nabíjecích stanic. Počet veřejně dostupných pomalých nabíjecích bodů byl 1 200 000 a veřejně dostupných rychlonabíjecích bodů byl 577 000. To je strmý nárůst za zhruba deset let. Jelikož v roce 2010 bylo na celém světě pouze 310 veřejně dostupných rychlonabíjecích stanic pro elektromobily a 3 700 veřejně dostupných pro pomalé nabíjení elektromobilů [67-69].

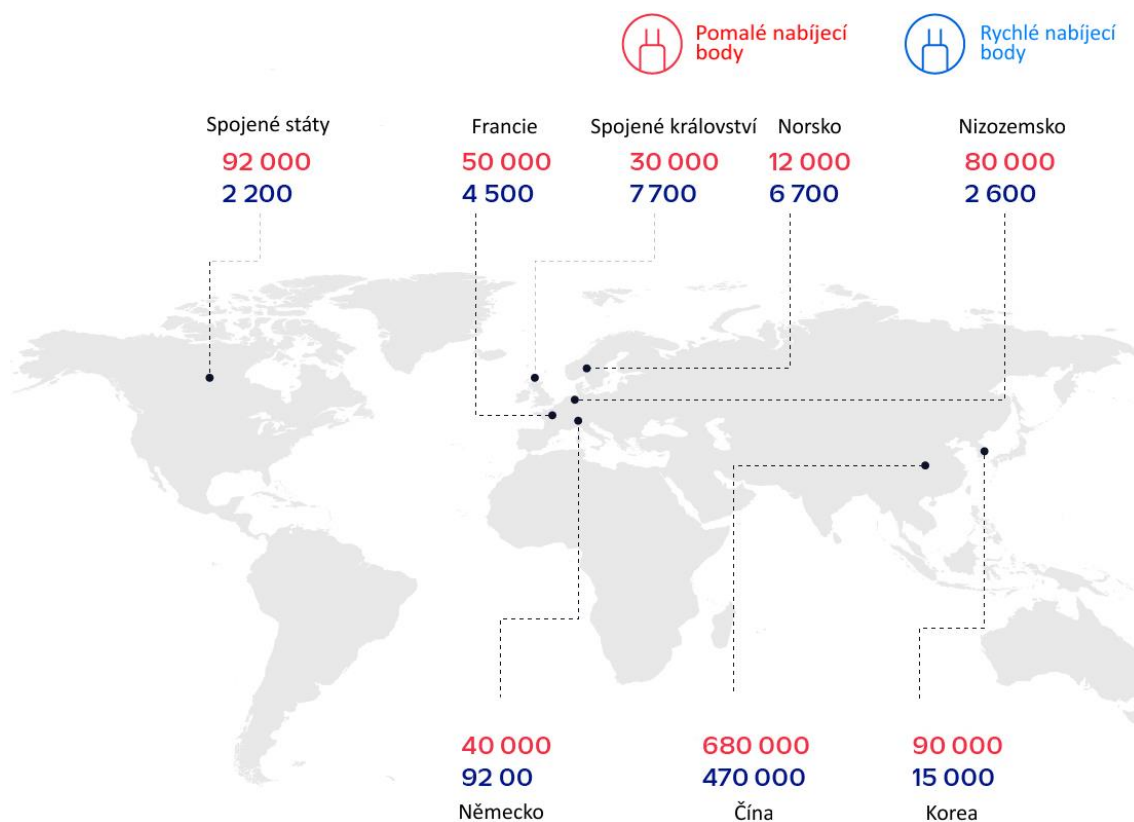


Obrázek 35: Graf vývoje počtu dobíjecích bodů pro elektromobily ve světě [68-69].

Jednotlivé státy chtějí udržet zdravý poměr elektromobilů a nabíjecích bodů. V roce 2021 byl globální poměr deset elektromobilů na jeden nabíjecí bod při výkonu 2,4 kW na elektromobil. Většina zemí se však snaží zajistit nižší poměr. Samotná Čína pracuje na snížení celosvětového průměru, protože jejich současný poměr je sedm elektromobilů na nabíjecí bod při 3,8 kW na elektromobil. Od ledna 2022 má Čína 470 000 veřejně

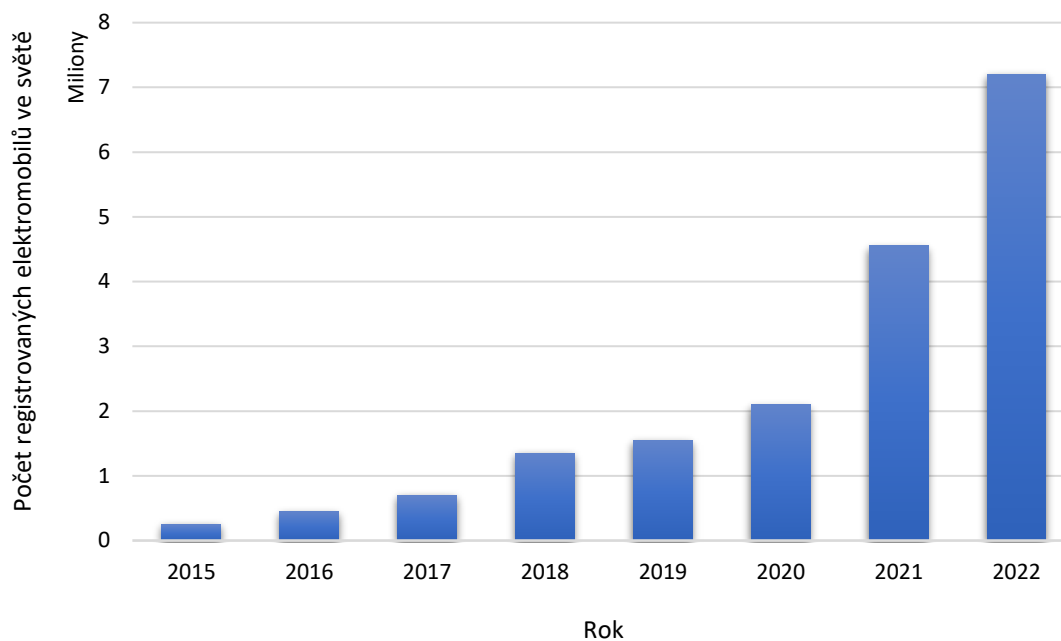
dostupných rychlonabíjecích stanic pro elektromobily a 680 000 stanic pro pomalé nabíjení elektromobilů. Čína už po určitý čas stojí v čele revoluce elektromobilů. Čína a Indie jsou dvě země, u kterých se očekává, že po roce 2025 zdvojnásobí počet veřejně dostupných nabíjecích bodů pro elektromobily. V roce 2021 bylo 60 % všech nabíjecích bodů pro elektromobily v USA Tesla Superchargery, ale Čína měla stále 85 % světových bodů pro rychlé nabíjení. Čína v roce 2021 měla 55 % světových pomalých nabíjecích bodů. Evropa byla na druhém místě s 25 %, následovalo USA s 8 % celosvětových pomalých nabíjecích bodů elektromobilů. Z hlediska rychlonabíjecích bodů je Evropa na druhém místě s 9 %. Následuje USA se 4 % celosvětových nabíjecích bodů. Tempo růstu budování rychlonabíjecích bodů bylo v roce 2021 vyšší, a to 48 %, oproti 43 % v roce 2020. Oproti tomu tempo růstu budování pomalých nabíjecích bodů bylo v roce 2021 33 % oproti 46 % v roce 2020 [69-70].

Na obrázku 36 se nachází počet pomalých a rychlých nabíjecích bodů v rámci celého světa ve vybraných státech, který mají v současnosti nejvyšší počty dobíjecích bodů na světě. V současné době Norsko a USA vyžadují vyšší tempo růstu nabíjecích bodů pro elektromobily. Důvod je takový, že Norsko má v současnosti nejvyšší poměr elektromobilů na nabíjecí bod, a to 33,6 elektromobilu na nabíjecí bod. Následuje USA s 18,2 elektromobilu na nabíjecí bod [70].



Obrázek 36: Globální stav počtu dobíjecích bodů elektromobilů v roce 2021 ve vybraných státech [70].

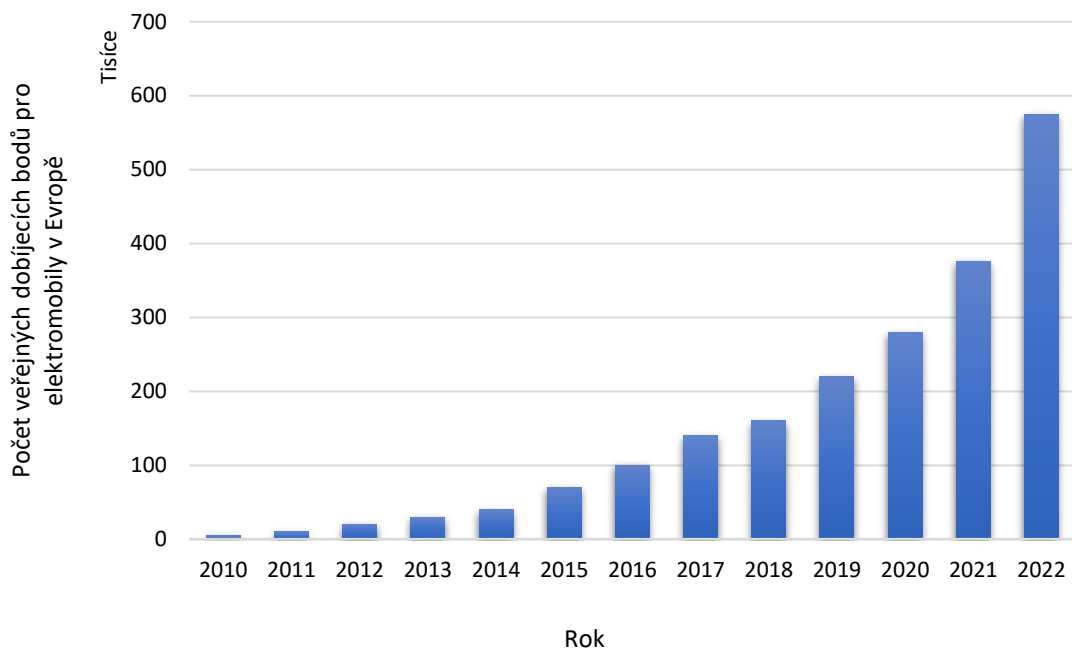
Na obrázku 37 je vyobrazený graf vývoje počtu elektromobilů ve světě od roku 2015. Nejprodávanější modely elektromobilů ve čtvrtém čtvrtletí roku 2022 byly sestupně Tesla Model Y, Tesla Model 3, Wuling Hongguang Mini EV, BYD Yuan Plus, BYD Dolphin a Wolkswagen ID.4 [67-68].



Obrázek 37: Graf vývoje počtu elektromobilů ve světě [67].

2.2.2 Analýza elektromobility v evropských státech

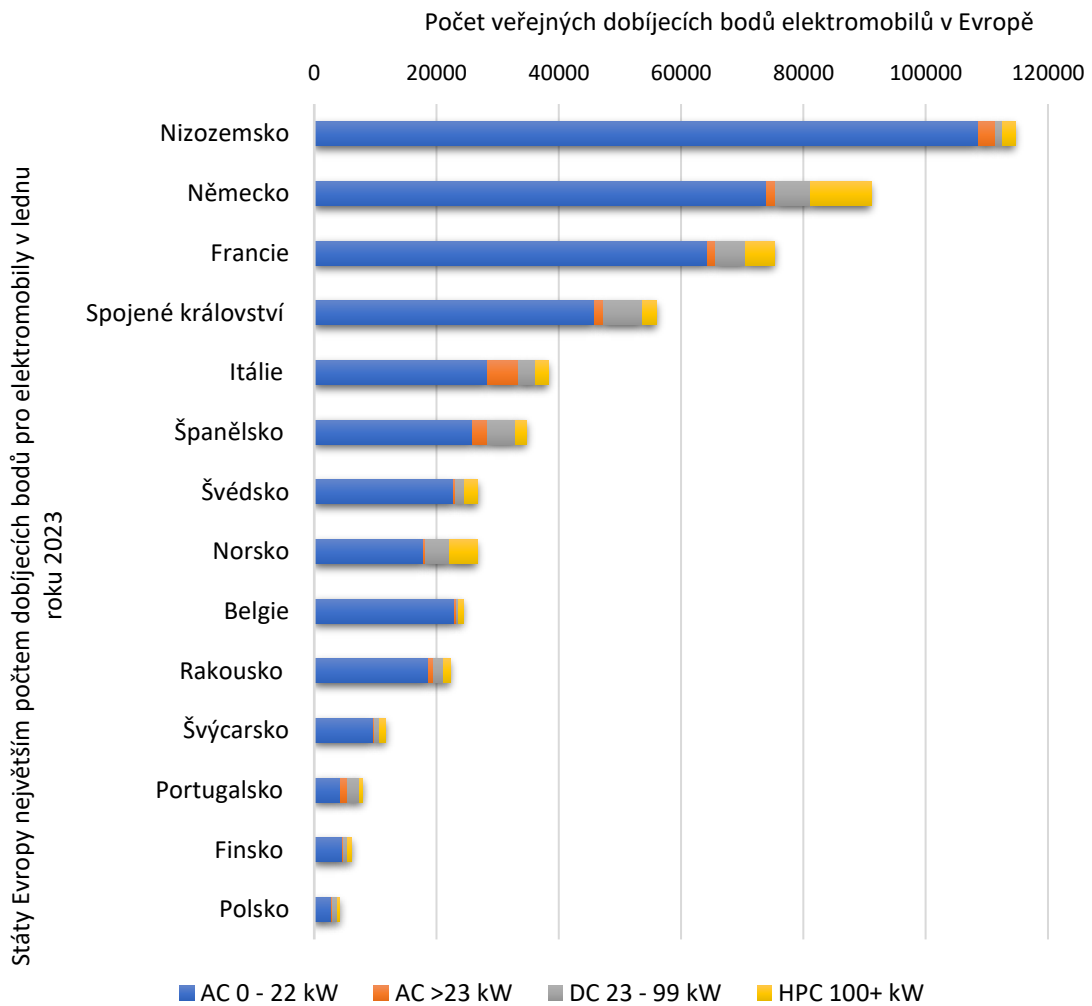
Na obrázku 38 se nachází graf vývoje počtu dobíjecích bodů pro elektromobily v Evropě. K lednu roku 2023 je evidováno v Evropě 586 107 všech typů nabíjecích bodů. Nabíjecí body, které dobíjí střídavým proudem s výstupním výkonem menším jak 22 kW, tvoří 83 % z celkového počtu dobíjecích bodů. Další 4 % jsou nabíjecí stanice, které dobíjí také střídavým proudem, ale jejich výstupní výkon je větší než 23 kW. Rychlodobíjecích stanic s výstupním výkonem 23–99 kW je v Evropě vybudováno 7 % z celku. Posledních 6 % zastupují rychlodobíjecí stanice, které mají výstupní výkon větší než 100 kW. Meziroční růst budování nabíjecích bodů mezi lednem 2022 a lednem 2023 se zvýšil o 46,62 % [71-72].



Obrázek 38: Graf vývoje počtu dobíjecích bodů pro elektromobily v Evropě [71-72].

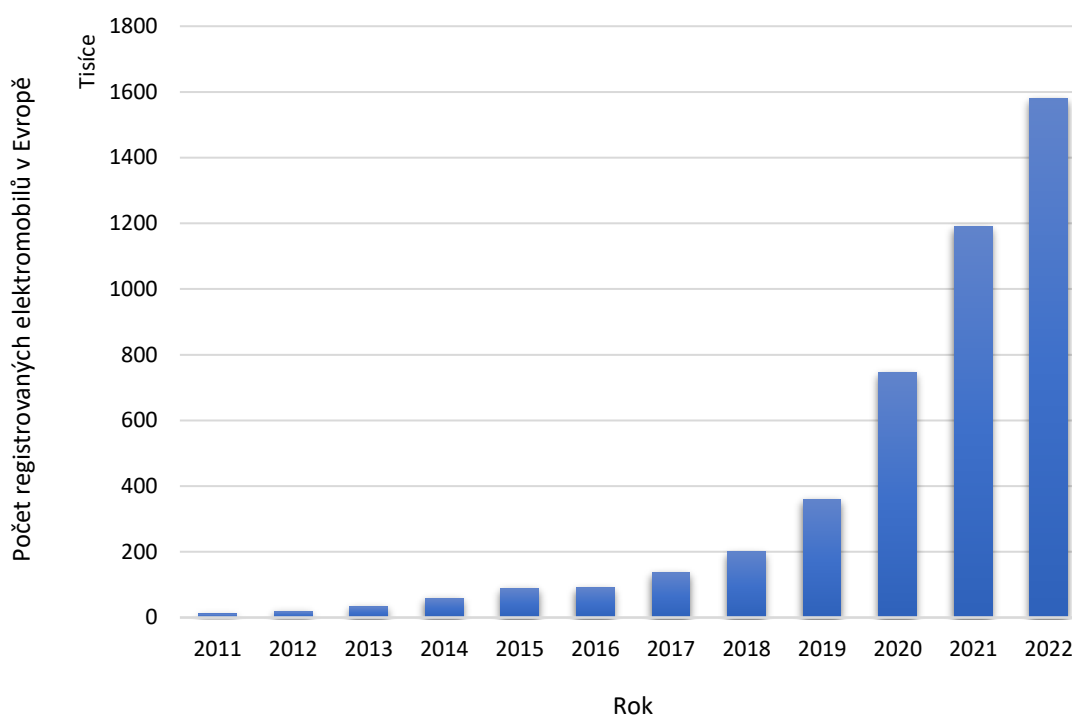
Z hlediska států Evropy se nachází nejvíce dobíjecích bodů v Nizozemsku, a to 114 651 k lednu 2023. Pomalých nabíjecích stanic na střídavý proud s výstupním výkonem menším jak 22 kW je v Nizozemsku z celkového počtu 95 %. Ostatních 5 % zastupují střídavé a stejnosměrné nabíjecí stanice, které mají výstupní výkon větší než 23 kW. Každoroční růst dobíjecích bodů v Nizozemsku je 35 %. Po Nizozemsku má nejvíce dobíjecích bodů stát Německo. Z celkového počtu 91 090 k lednu 2023 je 81 % bodů s výstupním výkonem menším jak 22 kW. Další 2 % tvoří nabíjecí body s dobíjecím střídavým proudem a výstupním výkonem větším než 23 kW. Rychlonabíjecích bodů s výstupním výkonem 23–99 kW má Německo vybudováno 6 % z celku a zbytkových 11 % tvoří rychlonabíjecí stanice s výstupním výkonem větším než 100 kW. Německo patří mezi státy s vyšším zastoupením rychlých dobíjecích bodů a jeho meziroční růst je 43 %. Dalšími státy s vysokým meziročním růstem jsou Francie 58 % a Spojené království 45 %. Na obrázku 39 se nachází graf čtrnácti států Evropy s nejvyšším počtem do-

bíjecích bodů v lednu roku 2023. Graf je rozdělený na čtyři typy možnosti dobíjení a vyobrazuje počet těchto typů dobíjení v jednotlivých státech [71, 73].



Obrázek 39: Graf čtrnácti států Evropy s nejvyšším počtem dobíjecích bodů vztahující se k lednu roku 2023 [73].

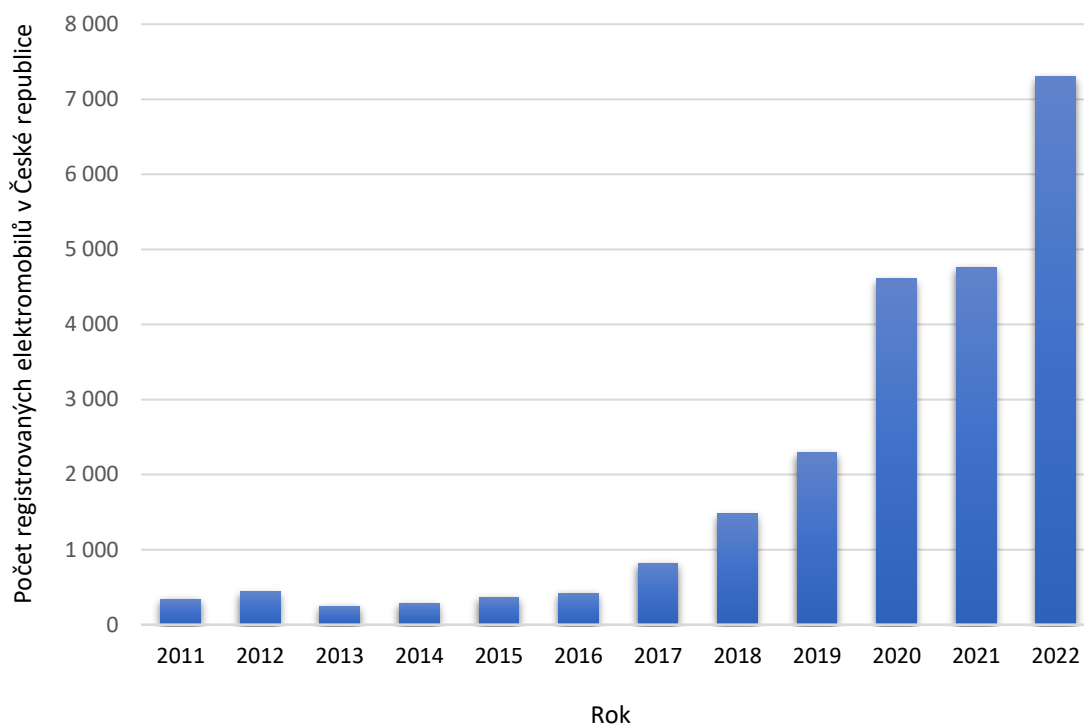
Registrace nových elektromobilů v roce 2022 dosáhly v Evropě 275 277 kusů. Je to dosavadní nejvyšší počet nově registrovaných elektromobilů za rok. Počet elektromobilů přesáhl rok 2021 o 51 % a také z celkového automobilového trhu, dosáhly elektromobily v Evropě 25% zastoupení. V roce 2022 bylo v Evropě zaregistrováno 1,58 milionu elektromobilů, což je 14% podíl z celkového objemu automobilů. Mezi deseti nejprodávanějšími elektromobily v roce 2022 byly v Evropě sestupně Tesla Model Y, Tesla Model 3, Volkswagen ID.4, Fiat 500e, Volkswagen ID.3, Škoda Enyaq iV, Dacia Spring, Peugeot e-208, Audi Q4 e-tron a Hyundai Kona Electric. Na obrázku 40 je zobrazený graf vývoje počtu elektromobilů v Evropě od roku 2011 do roku 2022 [74-75].



Obrázek 40: Graf vývoje počtu elektromobilů v Evropě [74-75].

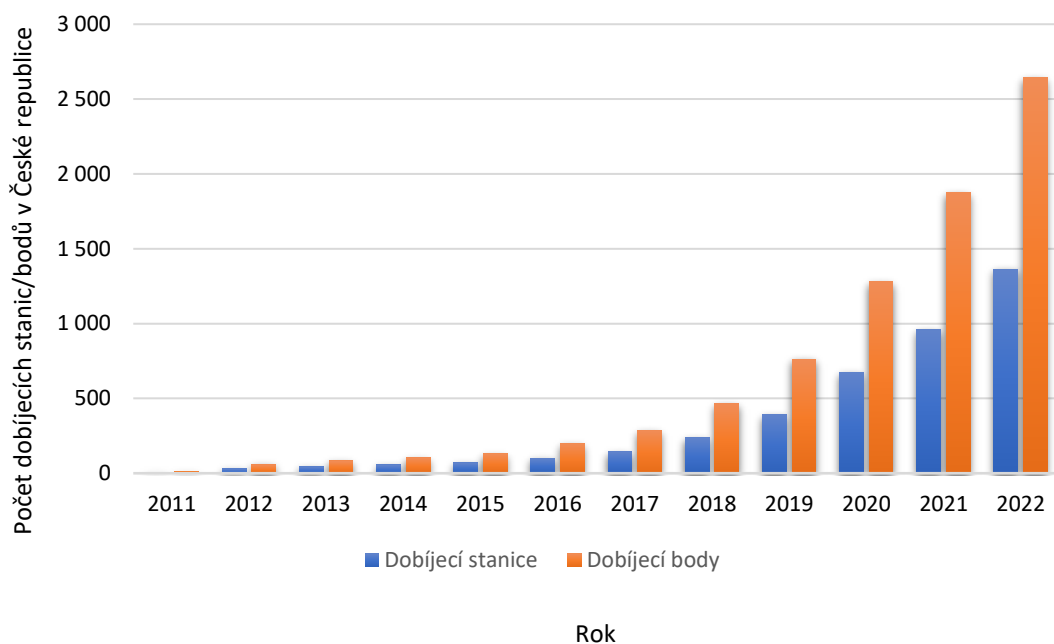
2.2.3 Analýza elektromobility v České republice

Elektromobilita v České republice je na počátku svého vzestupu. Na obrázku 41 se nachází graf vývoje počtu zaregistrovaných elektromobilů. Z grafu je patrný rostoucí trend prodeje elektromobilů, kdy v roce 2022 byl zaznamenán největší počet nových registrovaných elektromobilů, který činil 7302 kusů. V současnosti je v České republice zaregistrováno 23790 elektromobilů. Z této sumy je 62 % vozidel provozováno firmou nebo organizací a 38 % je evidováno na osobní uživatele. Dále je 84 % zaregistrovaných elektromobilů specifikováno jako nové a 16 % jako ojeté. Mezi nejprodávanější značky elektromobilů v České republice se řadí sestupně Škoda, Hecht, Tesla, Volkswagen, BMW a Hyundai. Další typy značek elektromobilů mají prodáno méně než 1000 kusů z celkové sumy. Ze všech nových registrovaných vozidel od roku 2005 do 28. 2. 2023 se stále ale množství elektromobilů pohybuje vůči ostatním typů paliv jen na 0,38% sumě. V roce 2022 byly registrované 2 % elektromobilů z celkového součtu všech druhů paliv. Z hlediska výroba elektromobilů v České republice mají data také stoupající tendenci. V roce 2020 bylo vyrobeno 2,5 % elektromobilů z celkového množství všech typů paliv. V roce 2021 6,5 % a v roce 2022 7,2 %. Za rok 2022 se tedy vyrobilo 87086 elektromobilů z celkového množství 1 217 787 různých druhů paliv automobilů [76-77].

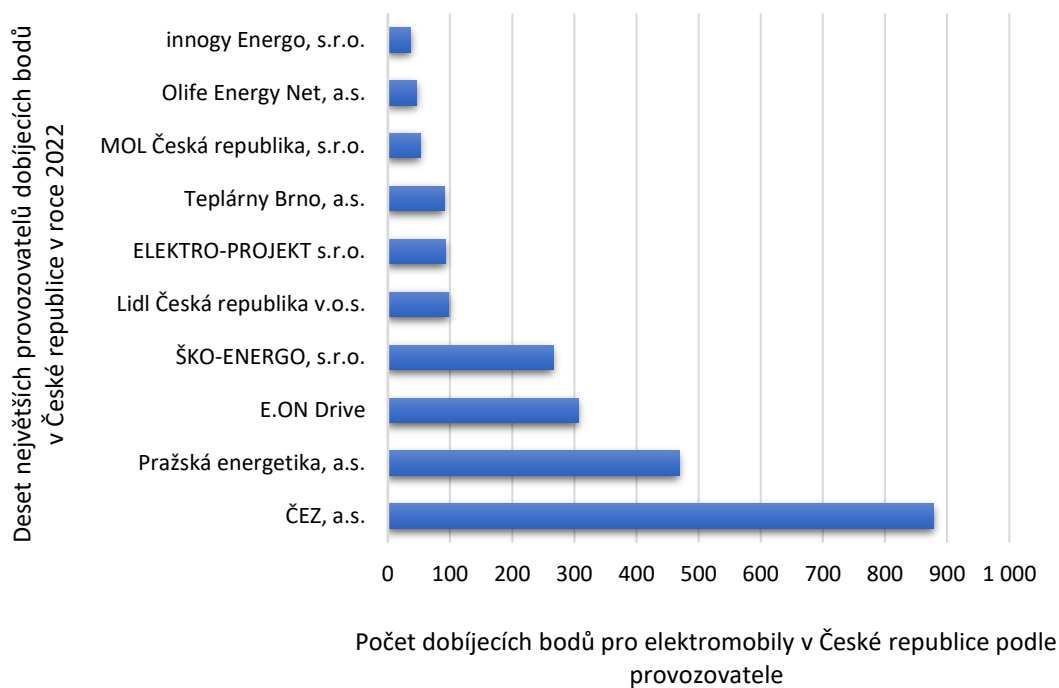


Obrázek 41: Graf vývoje počtu všech registrovaných elektromobilů v České republice [76-77].

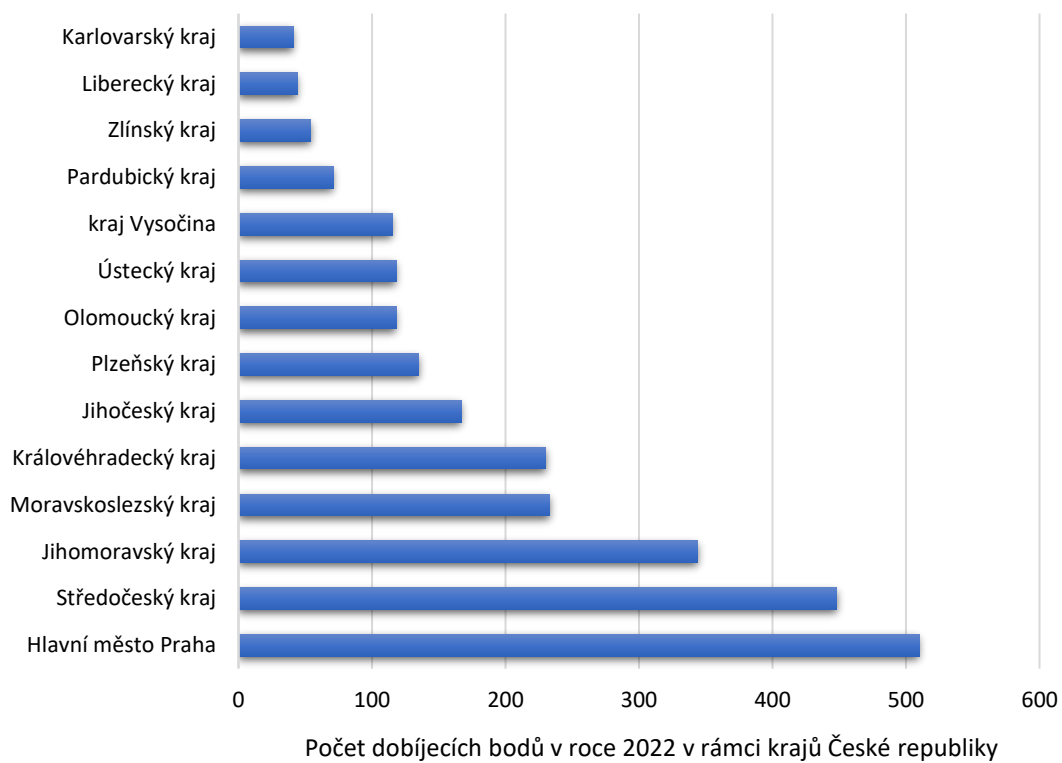
Od roku 2011 se neustále zvyšuje počet dobíjecích stanic a jednotlivých přípojných bodů, viz obrázek 42. Jelikož je stále více v posledních letech diskutované téma globální zvyšování teploty, dostávají se více na trh elektromobily, které jsou při provozu bezemisní. S poptávkou elektromobilů roste i počet vystavovaných dobíjecích stanic. Meziročně dochází ke zvyšování počtu dobíjecích stanic vybudovaných za rok. Dobíjecí stanice ve většině případů má možnost připojení dvou elektromobilů zároveň. Počet přípojných dobíjecích bodů je tedy přibližně dvojnásobný vůči dobíjecím stanicím. Veřejné dobíjecí stanice jsou provozovány různými firmami či organizacemi. Podle počtu dobíjecích bodů je na obrázku 43 uvedeno 10 provozovatelů, které poskytují nejvíce dobíjecích bodů v České republice. Počet dobíjecích bodů na jednotlivé kraje České republiky k datu 31. 12. 2022 je uvedený na obrázku 44 a jejich přehledové rozmístění na mapě je zobrazeno na obrázku 45 [78-79].



Obrázek 42: Graf vývoje počtu dobíjecích stanic/bodů pro elektromobily v České republice [78].



Obrázek 43: Graf deseti největších provozovatelů dobíjecích bodů v České republice v roce 2022 [78].



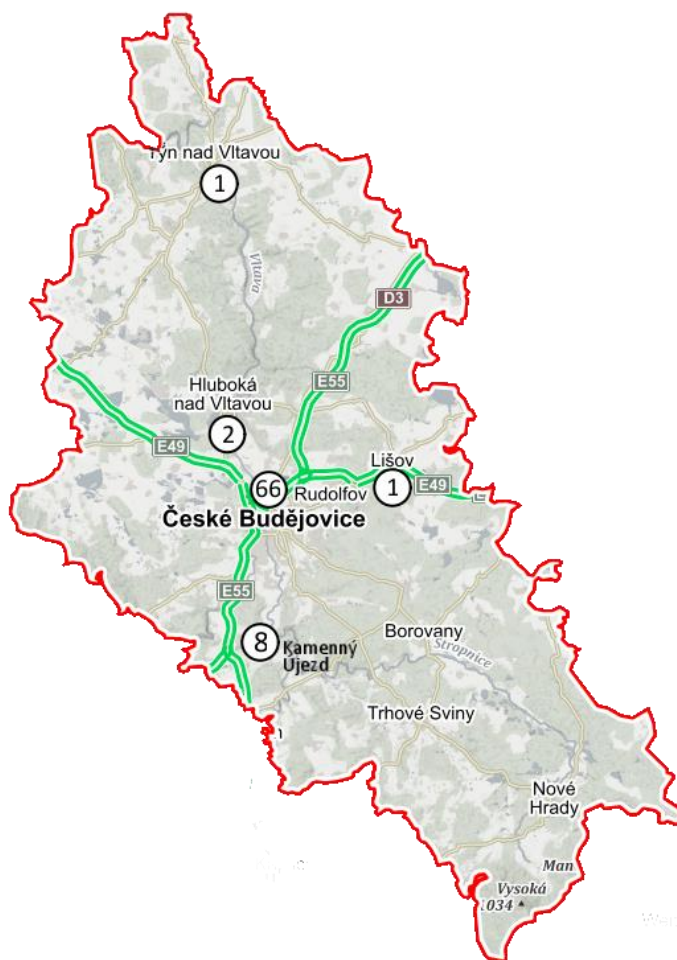
Obrázek 44: Graf počtu veřejných dobíjecích bodů v jednotlivých krajích České republiky v roce 2022 [78].



Obrázek 45: Počet rozmístěných dobíjecích stanic v České republice v lednu 2023 [79].

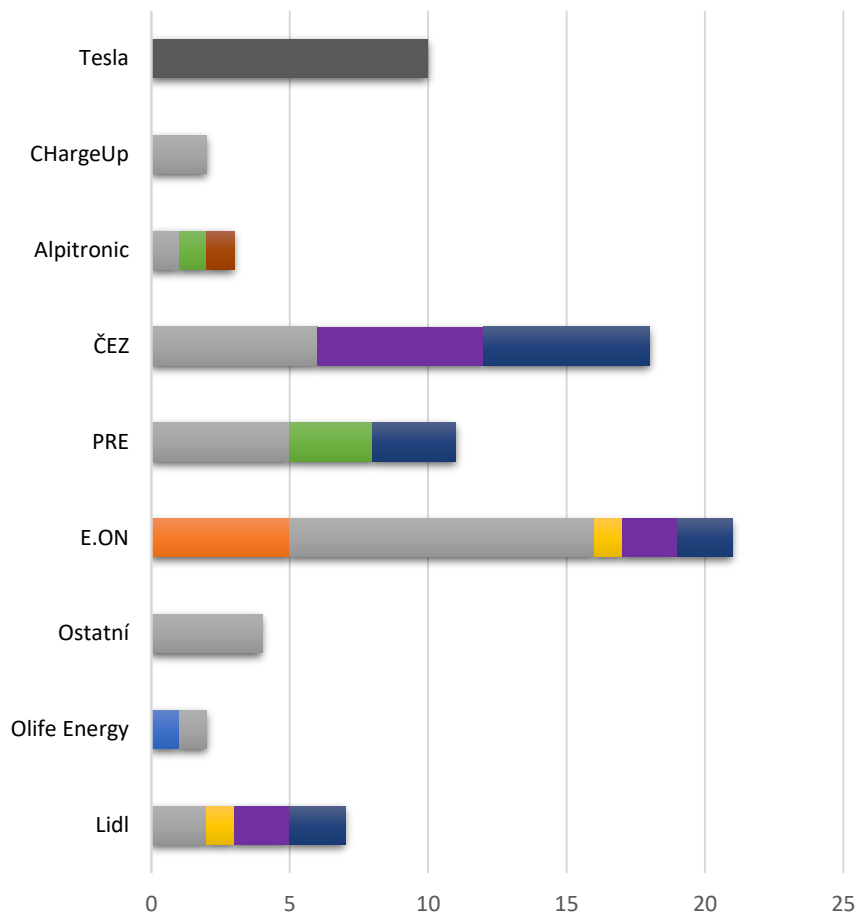
2.2.4 Průzkum dobíjecích bodů elektromobilů v okrese České Budějovice

Průzkum byl vykonán autorem práce ve dnech 8. 3. 2023 a 12. 3. 2023 jízdou po vlastní ose v rámci okresu České Budějovice. Na obrázku 46 je zobrazený okres České Budějovice s označeným počtem dobíjecích bodů pro elektromobily v blízkosti okolí jednotlivých vyznačených měst. Nejvíce dobíjecích bodů, přesněji 66, se nacházelo ve městě České Budějovice a jeho blízkém okolí. Následovaly Kamenný Újezd s osmi, Hluboká nad Vltavou s dvěma, Týn nad Vltavou s jedním a Lišov s jedním nabíjecím bodem. Další města, městysy a vesnice ve zmíněném okrese nemají vybudované veřejné dobíjecí body pro elektromobily. Na základě zmapovaných dobíjecích bodů byly zpracovány data do tabulky a vytvořený graf, který se nachází na obrázku 47. Graf obsahuje rozdělení provozovatelů podle počtu dobíjecích bodů v rámci okresu České Budějovice. Dobíjecí body na obrázku 47 jsou dále rozděleny podle konstrukčního typu konektoru, dobíjecího proudu a výkonu. Na obrázku 48 se nachází několik vyfocených nabíjecích bodů při provádění průzkumu.



Obrázek 46: Počet a rozmístění dobíjecích bodů v rámci okresu České Budějovice v březnu roku 2023.

Provozovatelé dobíjecích bodů v okrese České Budějovice v březnu 2023



	Lidl	Olife Energy	Ostatní	E.ON	PRE	ČEZ	Alpitronic	CHarge Up	Tesla
■ Typ 1 (J1772 - YAZAKI) 22 kW/32 A		1							
■ Typ 2 (Mennekes) 11 kW/16 A				5					
■ Typ 2 (Mennekes) 22 kW/32 A	2	1	4	11	5	6	1	2	
■ Typ 2 (Mennekes) 43 kW/64 A	1			1					
■ CCS Combo 50 kW/125 A	2			2		6			
■ CCS Combo 75 kW/250 A					3		1		
■ CHAdeMO 50 kW/120 A	2			2	3	6			
■ CHAdeMO 62 kW/150 A							1		
■ Tesla Destination Charger									10

Počet jednotlivých typů dobíjecích bodů v okrese České Budějovice

Obrázek 47: Tabulka a graf počtu veřejných dobíjecích bodů podle provozovatele v rámci okresu České Budějovice v březnu 2023.



Obrázek 48: Vyfocené nabíjecí body v rámci průzkumu v okrese České Budějovice.

Diskuze

Globální analýza vodíkové mobility byla zpracována vyhledáváním a porovnáváním zahraničních zdrojů, z kterých následně byl zpracován graf počtu vodíkových plnicích stanic na světě, který byl doplněn mapou světa s označenými body rozmístění vodíkových plnicích stanic. Tyto data mohly být ovlivněny současnou politikou vybraných států, které nezveřejňují anebo nemají zpracovanou kompletní analýzu infrastruktury dopravy. Tyto data byla poté uváděna na základě odhadů a nemusela být zcela přesná. To se týkalo hlavně sbírky dat od roku 2020. V roce 2022 prodej automobilů s vodíkovým palivovým článkem v celosvětovém měřítku oproti roku 2021 klesl. K tomuto stavu došlo kvůli nedostatku nabízených modelů automobilů s vodíkovým palivovým článkem a s tím spojeným poklesem jejich prodeje hlavně ve Spojených státech amerických.

Analýza infrastruktury vodíkové mobility v evropských státech byla provedena se statistickými daty, u kterých docházelo k pravidelným aktualizacím. Tyto data byla zveřejněna s vícera zdrojů a na základě jejich porovnání bylo dospěno k závěrům, že některé data nebyla totožná z hlediska počtu veřejných a soukromých vodíkových plnicích stanic. Tato nesouvislost mohla vyvolat odchylku s udávanými počty veřejných vodíkových plnicích stanic v jednotlivých státech. Z dat a rozmístění vodíkových plnicích stanic vyplynulo, že jen některé státy se účastní budování vodíkové infrastruktury a chtějí využívat vodík v automobilové dopravě. Kvůli nedostatečné infrastruktuře v určitých státech nebyl zaregistrovaný žádný automobil s vodíkovým palivovým článkem anebo nebyla zveřejněna žádná statistická data.

Česká republika v čase zpracovávání práce byla zapojena do vývoje a budování vodíkových technologií v dopravě. Stála na počátku rozvoje vodíkových technologií v dopravě. Česká republika měla vypracovaný dokument z roku 2021 o predikci a vývoji využití vodíku v automobilovém průmyslu. Podle zveřejněných dat byly v provozu v celé České republice pouze dvě veřejné vodíkové plnicí stanice. Tudíž po provedeném průzkumu v okrese České Budějovice v březnu 2023, bylo potvrzeno, že se nenacházela žádná možnost doplnění vodíku v rámci okresu a provozovatel by musel dojíždět s vodíkovým automobilem za účelem doplnění vodíku do automobilu do nejbližší možné stanice, která se nacházela v průměru 150 km od zmíněného okresu.

Globální analýza elektromobility vůči vodíkové mobilitě podle dostupných dat ukázala výraznější nárůst ve využívání elektromobilů a s tím spojené budování veřejných dobíjecích bodů. Na světě se podle zjištěných dat dostávalo větší podpory elektromobilům vůči automobilům s vodíkovým palivovým článkem. Současně s tímto trendem se jednotlivé státy snažily udržet zdravý poměr dobíjecích bodů ku počtu elektromobilů. Data počtu dobíjecích bodů ve světě se každý den zvyšovala a za rok 2022 nebyla kompletně zpracována, což mohlo způsobit odchylku od reálného počtu dobíjecích bodů ve světě.

Analýza elektromobility v evropských státech byla pravidelně aktualizována. Počet elektromobilů v rámci Evropy každoročně stoupal a s tímto trendem se budovaly čím dál výkonnější dobíjecí stanice, aby se zkrátila doba nabíjecího cyklu elektromobilu. Podle zjištěných dat se ale v Evropě stále nacházelo 87 % pomalých dobíjecích bodů a rychlonabíjecích pouze 13 %.

V České republice docházelo každoročně ke zvyšování počtu vybudovaných dobíjecích bodů. Současně s tím stoupal počet zaregistrovaných elektromobilů. Po vykonaném průzkumu v okrese České Budějovice bylo zjištěno, že by bylo možné provozovat elektromobil s možným veřejným dobitím v rámci zmíněného okresu. Rozmístění dobíjecích bodů se situovalo v rámci okresu hlavně do města České Budějovice. Autorem práce bylo nalezeno a prozkoumáno 78 dobíjecích bodů v rámci zmíněného okresu. Potenciální chyby v počtu dobíjecích bodů mohly vzniknout, kvůli nenalezení všech dobíjecích bodů, či nemožnosti veřejného přístupu k dobíjecímu bodu v čase konání průzkumu z důvodu uzavírek cest a rekonstrukcí budov. Dále chyby mohly vzniknout na základě nejasně označených dobíjecích míst a nemožnosti přesného určení, zda byl dobíjecí bod veřejný nebo soukromý.

Závěr

- Byly nastudovány a shrnuty důležité informace týkající se vodíkových pohonů a elektromobility.
- Bylo poukázáno na jednotlivé perspektivy vodíkových pohonů a elektromobility.
- Byly vysvětleny funkce a specifikace vodíkových plnicích stanic.
- Byla popsána funkce dobíjecích bodů pro elektromobily a vysvětleny funkční rozdíly mezi jednotlivými dobíjecími body.
- Byly zobrazeny jednotlivé typy dobíjecích konektorů elektromobilů, popsány jejich konstrukční a funkční rozdíly.
- Byla navržena a provedena analýza vodíkové mobility a elektromobility v:
 - globálním měřítku;
 - evropských státech;
 - České republice.
- Data z analýzy byly využity ve grafech, které poukazují na množství:
 - registrovaných automobilů s vodíkovým palivovým článkem;
 - registrovaných elektromobilů;
 - počet vodíkových plnicích stanic;
 - počet dobíjecích bodů pro elektromobily.
- Byl provedený průzkum v okrese České Budějovice za účelem zmapování vodíkových plnicích stanic a prozkoumání dobíjecích bodů pro elektromobily.
- Data z průzkumu byla zpracována a vyhodnocena následovně:
 - využívání automobilu s vodíkovým palivovým článkem s možností doplnění vodíku do automobilu nebylo možné v rámci okresu České Budějovice;
 - v okrese se nenacházela žádná veřejná vodíková plnicí stanice;
 - nejbližší možné veřejné místo doplnění vodíku do automobilu se nacházelo v Praze;
 - využívání elektromobilu s možností veřejného dobíjení bylo v okrese České Budějovice možné;
 - v okrese bylo vybudováno 78 dobíjecích bodů a čtyři z nich měly nejvyšší dobíjecí výkon 75 kW;
 - ve městě České Budějovice se nacházelo 66 dobíjecích bodů;
 - v okrese byly přítomny čtyři druhy dobíjecích konektorů.

Seznam použité literatury

- [1] VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
- [2] První vodíkové auto je starší než všechna na benzin, je mu 205 let Zdroj: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/prvni-vodikove-auto-je-starsi-nez-vsechna-na-benzin-je-mu-205-let.A120221_011818_automoto_vok. In: Idnes.cz [online]. Praha: MAFRA, 2022 [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/prvni-vodikove-auto-je-starsi-nez-vsechna-na-benzin-je-mu-205-let.A120221_011818_automoto_vok
- [3] Historie elektromobilů aneb vývoj elektroaut. In: Portalridice.cz [online]. Pardubice: DF SOLUTIONS, 2022 [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <https://www.portalridice.cz/clanek/historie-elektromobilu-vite-jak-se-vyvijela-elektricka-auta>
- [4] Emise CO2 z aut: fakta a čísla (infografika). In: Europarl.europa.eu [online]. Štrasburk: Evropský parlament, 2022 [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190313STO31218/emise-co2-z-aut-fakta-a-cisla-infografika>
- [5] Evropská unie rozhodla. Od roku 2035 nekoupíme žádné auto se spalovacím motorem. In: Auto-mania.cz [online]. Hostouň: Anina Russová, 2021 [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <https://auto-mania.cz/evropska-unie-rozhodla-od-roku-2035-nekoupime-zadne-auto-se-spalovacim-motorem/>
- [6] Dává vodíkový pohon smysl? Nebo je budoucností elektromobilita?. In: Fdrive.cz [online]. Praha: 24net, 2021 [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/dava-vodikovy-pohon-smysl-nebo-je-budoucnosti-elektromobilita-7346>
- [7] Vodík v automotive. In: Devinn.cz [online]. Jablonec nad Nisou: DEVINN s.r.o., 2019 [cit. 2022-11-17]. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/blog/vodik-v-automotive-2>
- [8] Hydrogen. In: Britannica.com [online]. Edinburghu: William Lee Jolly, 2022 [cit. 2022-11-03]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/hydrogen#ref80844>
- [9] Výroba vodíku. Vodík a elektromobilita [online]. Jablonec nad Nisou: DEVINN s.r.o., 2019 [cit. 2022-11-04]. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/blog/vyroba-vodiku>
- [10] Bezpečnost vodíku. Vodík a elektromobilita [online]. Jablonec nad Nisou: DEVINN s.r.o., 2019 [cit. 2022-11-05]. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/blog/bezpecnost-vodiku>
- [11] Bezpečnost manipulace s vodíkem. Vodík [online]. Praha: Josef Drobný, 2019 [cit. 2022-11-04]. Dostupné z: <https://hydro-race.eu/Bezpe%C4%8Dnost-manipulace-s-vod%C3%ADkem>

- [12] Vodík umožňuje propojení čisté energie s aplikacemi. In: Tuvsud.com [online]. Praha: TÜV SÜD Czech s.r.o., 2022 [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: <https://www.tuvsud.com/cs-cz/temata/vodik/zjistete-vice-o-hodnotovem-retezci-vodiku/skladovani-a-distribuce-vodiku>
- [13] Vodíková strategie České republiky. In: Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2021 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/2021/7/3VL-03-Vodikova-strategie_v030b.pdf
- [14] Skladování vodíku. Vodík [online]. 2019 [cit. 2022-11-05]. Dostupné z: <https://hydro-race.eu/Skladov%C3%A1n%C3%AD-vod%C3%ADku>
- [15] Skladování vodíku. Vodík a elektromobilita [online]. Jablonec nad Nisou: DEVINN s.r.o., 2019 [cit. 2022-11-05]. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/blog/skladovani-vodiku>
- [16] Jak se vyrábí palivo budoucnosti. Vodík pro auta i elektroniku. In: Idnes.cz [online]. Praha: MAFRA, 2008 [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/technet/technika/jak-se-vyrabi-palivo-budoucnosti-vodik-pro-auta-i-elektroniku.A080127_234744_tec_technika_vse
- [17] Vodíkové technologie pro ekologické energetické hospodářství v dopravě [online]. Brno, 2018 [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=174749. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [18] Spalovací motor. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2023-01-04]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Spalovac%C3%AD_motor
- [19] Vodíkový automobil. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2023-01-04]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Vod%C3%ADkov%C3%BD_automobil
- [20] Bmw hydrogen 7 [online]. Kanada: mall-18, 2023 [cit. 2023-01-04]. Dostupné z: <https://www.malls-18.pw/products.aspx?cname=bmw+hydrogen+7&cid=4>
- [21] Mazda builds first RX-8 Hydrogen re for Norway. In: Auto123.com [online]. Kanada: auto123, 2022 [cit. 2023-01-04]. Dostupné z: <https://www.auto123.com/en/news/mazda-builds-first-rx-8-hydrogen-re-for-norway/22334/>
- [22] HROMÁDKO, Jan. Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. 1. vyd. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [23] Jak fungují palivové články?. In: Tzb-info.cz [online]. Praha: Petra Šrubařová, 2018 [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/elektromotory-pohony-a-stroje/16987-jak-funguji-palivove-clanky>
- [24] Obnovitelné zdroje. In: 3pol.cz [online]. Tábor: Třípól, 2003 [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/obnovitelne-zdroje/1084-co-je-to-palivovy-clanek>

- [25] Současné metody diagnostiky palivových článků PEM a jejich komponent. [online]. Plzeň, 2015 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: https://otik.zcu.cz/bitstream/11025/19823/1/Diplomka_8_finish_tisk.pdf. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [26] Palivové články [online]. Praha: Ústav Jaderného Výzkumu Řež, a.s., 2002 [cit. 2022-11-24]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/palivove-clanky.pdf>
- [27] VYUŽITÍ VODÍKU V AUTOMOBILECH. In: Devinn.cz [online]. Jablonec nad Nisou: DEVINN s.r.o., 2019 [cit. 2023-01-04]. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/blog/vyuziti-vodiku>
- [28] VW Golf Variant HyMotion s palivovými články. In: Autokaleidoskop.cz [online]. Praha: Autokaleidoskop, 2014 [cit. 2023-01-04]. Dostupné z: <https://www.autokaleidoskop.cz/Novinky/VW-Golf-Variant-HyMotion-s-palivovymi-clanky-/>
- [29] Vodíková auta, nebo elektromobily – kdo zvítězí?. In: Fdrive.cz [online]. Praha: fdrive, 2019 [cit. 2023-01-04]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/vodikova-auta-nebo-elektromobily-kdo-zvitezi-2492>
- [30] Degradace komponent vodíkových palivových článků typu PEM [online]. Plzeň, 2016 [cit. 2023-01-04]. Dostupné z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/27397/1/BP_Zykova.pdf. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [31] ELEKTŘINA: encyklopedie energetiky [online]. Praha: ČEZ, a. s., 2011, [cit. 2022-12-15]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/data/web/vzdelavaci-program-cez/tiskoviny/encyklopedie-eletrina-e.pdf>
- [32] Elektrické stroje a přístroje [online]. Sokolnice: Jirí Zoufalý, 2014 [cit. 2023-01-04]. Dostupné z: https://projekty.osu.cz/irp2016/Elektricke_stroje_a_pristroje.pdf
- [33] Trakční vlastnosti elektromobilu – výkony a účinnosti [online]. Praha: Košík, 2017 [cit. 2023-01-04]. Dostupné z: https://motor.feld.cvut.cz/sites/default/files/predmety/B1M14EPT/EPT_%C3%B4Aloha5_2017_18_elektromobil.pdf
- [34] Audi e-tron: pohled pod kapotu prvního elektromobilu z Ingolstadtu. In: Zavolantem.cz [online]. Praha: zavolantem, 2019 [cit. 2023-01-04]. Dostupné z: <https://www.zavolantem.cz/audi-e-tron-pohled-pod-kapotu-prvniho-elektromobilu-z-ingolstadtu/>
- [35] Different types of electric motors used in EVs. In: Arenaev [online]. New York: Loukas, 2022 [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: https://www.arenaev.com/different_types_of_electric_motors_used_in_ev-news-214.php
- [36] Elektromobily, jejich baterie a jak nabíjet. In: Evexpert.cz [online]. Olomouc: EVEXPERT, 2022 [cit. 2023-01-04]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/elektromobily-a-jejich-baterie>

- [37] Konstrukce, technické systémy a provoz elektricky poháněných automobilů [online]. České Budějovice: Ing. Ivo Celjak, CSc., 2018 [cit. 2023-01-04]. Dostupné z: http://kzt.zf.jcu.cz/wp-content/uploads/2019/02/Skripta-Konstrukce-a-provoz-elektromobil%C5%AF_v4.pdf
- [38] Konstrukce elektromobilu. In: Devinn.cz [online]. Jablonec nad Nisou: DEVINN s.r.o., 2019 [cit. 2023-01-04]. Dostupné z: <https://www.devinn.cz/blog/konstrukce-ele>
- [39] Koncepce elektromobilu [online]. Brno, 2010 [cit. 2023-01-04]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30291522.pdf>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [40] Nabíjení elektromobilů, zatížení sítě a řízení výkonu – část I., typy nabíjení. In: Tzbinfo [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2020 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/20937-nabijeni-elektromobilu-zatizeni-site-a-rizeni-vykonu-cast-i>
- [41] Nabíječky elektromobilů a jejich vysvětlení. In: TSG [online]. Praha: TSG, s.r.o., 2022 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.tsg-solutions.com/cz/nabijecky-elektromobilu/>
- [42] AC / DC nabíjení u elektromobilů a jejich rozdíl. In: Evexpert [online]. Olomouc: EV EXPERT s.r.o., 2022 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/ac-dc-nabijeni>
- [43] Palubní nabíječka elektromobilů a informace. In: Evexpert [online]. Olomouc: EV EXPERT s.r.o., 2022 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/palubni-nabijecka-elektromobilu>
- [44] Typy konektorů pro nabíjení EV ve světě. In: Evexpert [online]. Olomouc: EV EXPERT s.r.o., 2022 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/eshop/znalostni-centrum/typy-konektoru-pro-nabijeni-ev-ve-svete>
- [45] Press Release. In: H2stations.org [online]. Ottobrunn: Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, 2023 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.h2stations.org/wp-content/uploads/2023-01-21-LBST-HRS-2022-en.pdf>
- [46] Statistics: Hydrogen Infrastructure. In: H2stations.org [online]. Ottobrunn: Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, 2023 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.h2stations.org/statistics/>
- [47] Hydrogen Refuelling Stations Worldwide. In: H2stations.org [online]. Ottobrunn: Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, 2023 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.h2stations.org/wp-content/uploads/world-2023.jpg>
- [48] Over 56 thousand Hydrogen Passenger Vehicles Sold So Far. In: Cision [online]. United States: Samy Sabarwal, 2023 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.prnewswire.com/news-releases/over-56-thousand-hydrogen-passenger-vehicles-sold-so-far-301743054.html>

- [49] Vůz na vodíkový pohon žije: Prodeje se v roce 2021 zvýšily o 84 procent. In: Motor1.com [online]. Torino: Felipe Munoz, 2022 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.motor1.com/news/574229/hydrogen-powered-car-alive-sales-up-84-percent/>
- [50] Net Number of FCEVs in Europe. In: Fuel cells and hydrogen observatory [online]. Brusel: Fuel Cells and Hydrogen Observatory, 2023 [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://www.fchobservatory.eu/observatory/technology-and-market/net-number-of-fcev-net>
- [51] Hydrogen Refuelling Stations in Europe. In: H2stations.org [online]. Ottobrunn: Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, 2023 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.h2stations.org/wp-content/uploads/Europe-2023.jpg>
- [52] Studie – Využití vodíkového pohonu v dopravě v České republice. In: Hytep česká vodíková technologická platforma [online]. Husinec: Česká vodíková technologická platforma z.s., 2017 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://www.hytep.cz/images/dokumenty-ke-stazeni/Studie-Vyuziti-vodikoveho-pohonu-v-doprave-v-Ceske-republice.pdf>
- [53] Vodíkové stanice v Německu v Březnu 2023. In: Glpautogas.info [online]. Německo: glpautogas.info, 2023 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1a3gr_P2XGYssP1peV_XyDf4JH6naGPF&ll=50.7095880585449%2C14.468687902605936&z=7
- [54] Nizozemsko plánuje výrazný rozvoj vodíkové infrastruktury, Češi mohou být u toho. In: Moderní ekonomická diplomacie MZV ČR [online]. Praha: Stanislav Beneš, 2022 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.export.cz/aktuality/nizozemsko-planuje-vyrazny-rozvoj-vodikove-infrastruktury-cesi-mohou-byt-u-toho/>
- [55] Projects Underway as Part of UK's Hydrogen Plan. In: Power [online]. Houston: Darrell Proctor, 2022 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.powermag.com/projects-underway-as-part-of-uks-hydrogen-plan/>
- [56] Paving the way for fossil - free transportation in the Nordic region. In: Nordic Hydrogen Corridor [online]. Švédsko: Pawel Seremak, 2023 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://nordichydrogencorridor.com/>
- [57] Španělsko se chce stát vodíkovou velmocí. Spoléhá na nízké náklady. In: Týdeník HROT [online]. Praha: František Novák, 2021 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.tydenikhrot.cz/clanek/spanelsko-vodik-velmoc>
- [58] Španělsko, Portugalsko a Francie se dohodly na stavbě produktovodu pro vodík. In: OENERGETICE [online]. Třebíč: OM Solutions s.r.o., 2022 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/plyn/spanelsko-portugalsko-a-francie-se-dohodly-na-stavbe-produktovodu-pro-vodik>
- [59] Vodíkové stanice v Rakousku v Březnu 2023. In: Glpautogas.info [online]. Rakousko: glpautogas.info, 2023 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://www.glpautogas.info/cs/vodikove-stanice-rakousko.html>

- [60] Vodíkové stanice v Polsku v Březnu 2023. In: Glpautogas.info [online]. Polsko: glpautogas.info, 2023 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://www.glpautogas.info/cs/vodikove-stanice-polsko.html>
- [61] Na Slovensku je druhá čerpací stanice na vodík, tentokrát v Trnavě. In: Techbox [online]. Senec: TECHBOX, sro, 2022 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://www.techbox.sk/na-slovensku-je-druha-cerpacia-stanica-na-vodik-tentokrat-v-trnave/>
- [62] Na Slovensku dnes otevřeli první vodíkovou čerpačku. Podívejte se, jak vypadá. In: Pravda [online]. Bratislava: OUR MEDIA SR a. s., 2022 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://auto.pravda.sk/doprava/clanok/617304-na-slovensku-dnes-otvorili-prvu-vodikovu-cerpacku-pozrite-sa-ako-vyzera/>
- [63] Otevíráme novou vodíkovou stanicí. In: Cylinders Holding [online]. Ostrava: VÍTKOVICE CYLINDERS a.s., 2022 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://www.cylinders.cz/cs/otevirame-novou-vodikovou-stanici/a-125/>
- [64] Veřejnou vodíkovou stanicí otevře Unipetrol do konce roku. In: Čerpačka web [online]. Praha: ATOZ Marketing Services, spol. s r.o., 2022 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://www.cerpacka.cz/2022/07/20/verejnou-vodikovou-stanici-otevre-unipetrol-do-konce-roku/>
- [65] ORLEN Unipetrol. In: Twitter [online]. Praha: ORLEN Unipetrol, 2023 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://twitter.com/ORLENUnipetrol/status/1634160647070949376>
- [66] Vodíková mapa ČR. In: Čistá doprava [online]. Ostrava: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2023 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://www.cistadoprava.cz/mapy/h2/>
- [67] Electric vehicle outlook 2022. In: BloombergNEF [online]. New York: Colin McKerracher, 2022 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>
- [68] Global Electric Vehicle Sales Crossed 10 Million in 2022. In: Counterpoint [online]. Kalkata: Abhik Mukherjee, 2023 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.counterpointresearch.com/global-ev-sales-q4-2022/>
- [69] Trends in charging infrastructure. In: Iea [online]. Paříž: IEA 2023, 2022 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022/trends-in-charging-infrastructure>
- [70] 10 EV Charging Statistics You Should Know for 2023. In: Twilio [online]. San Francisco: Twilio 2023, 2022 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://interactive.twilio.com/ev-charging-statistics>
- [71] 575.000 public charge points in Europe by Dec 2022. In: EVMarketsReports.com [online]. Rotterdam: EVMarketsReports.com, 2023 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://evmarketsreports.com/575-000-public-charge-points-in-europe-by-dec-2022/>

- [72] EU electric car adventurers should plan carefully. In: European data news Hub [online]. Paříž: Agence France-Presse, 2022 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://ednh.news/eu-electric-car-adventurers-should-plan-carefully/>
- [73] Charge Point Monitor Europe. In: EVMarketsReports.com [online]. Rotterdam: EVMarketsReports.com, 2023 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://evmarketsreports.com/charge-point-monitor/europe/>
- [74] Plug-in electric vehicles in Europe. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in_electric_vehicles_in_Europe
- [75] Europe: Plug-In Car Sales Reached Spectacular Record In December 2022. In: InsideEVs [online]. Miami: Mark Kane, 2023 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/651295/europe-plugin-car-sales-december2022/>
- [76] Registrace všech čistých vozidel v ČR dle NAP ČM. In: Čistá doprava [online]. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2022 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.cistadoprava.cz/registrace-vsech-cistych-vozidel-v-cr-dle-nap-cm/>
- [77] V Česku už jezdí přes 20 000 elektrických vozidel. Nejvíce jich nese značku Škoda. In: Fdrive.cz [online]. Praha: Ladislav Čermák, 2022 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/v-cesku-uz-jezdi-pres-20-000-elektricky-vozidel-nejvice-jich-nese-znacku-skoda-9319>
- [78] Veřejné dobíjecí stanice v ČR. In: Čistá doprava [online]. Brno: Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., 2022 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.cistadoprava.cz/stanice-ceska-republika/>
- [79] Nabijto. In: Nabijto.cz [online]. Praha: Univerzita Karlova, 2017 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://www.nabijto.cz/>