

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Využití dopravních dat pro podporu carsharingu  
a elektromobility**

**PŘÍLOHA A**

**Přehled pohonů osobních automobilů**

Autor práce:           Ing. Bc. Daniel Drnec

Vedoucí práce:        Ing. Alexandra Dvořáčková, Ph.D.

**2023**

## Obsah

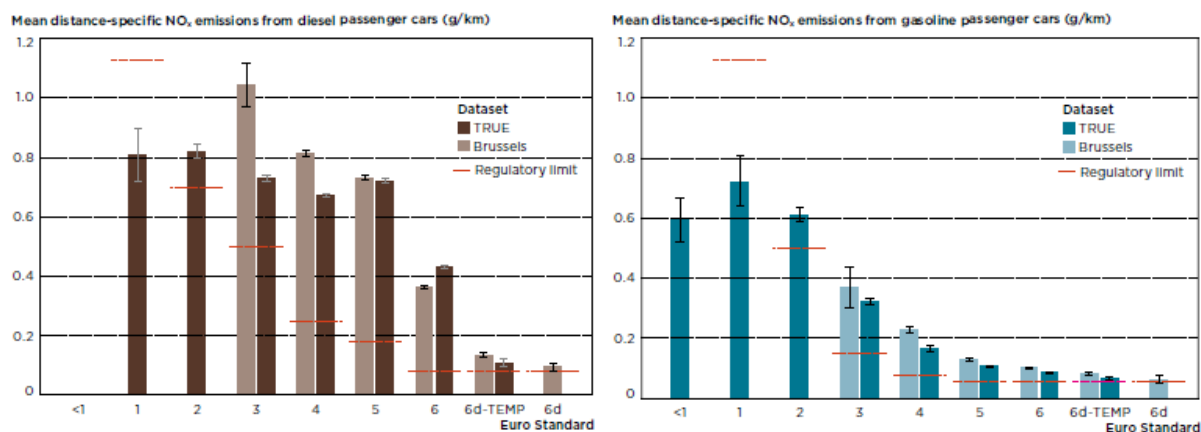
Obsah.....	1
1 Vozidlo se spalovacím motorem.....	2
2 Mild hybrid .....	4
3 Full hybrid.....	5
4 Plug-in hybrid .....	7
5 Hybridní elektromobil.....	10
6 Elektromobil s range extenderem .....	11
7 Bateriový elektromobil .....	12
8 Vozidlo s palivovým článkem .....	18
Zdroje .....	20
Seznam zkratk .....	24
Seznam obrázků .....	26
Seznam grafů.....	26

## 1 Vozidlo se spalovacím motorem

Klasická vozidla se spalovacími motory se dělí na zážehová a vznětová. Existují ve variantách pro různá paliva (většinou fosilní – benzín, motorová nafta, LPG, CNG, ...) a elektřinu využívají pouze pro pohon některého příslušenství potřebného pro chod motoru (různé ventilátory a pomocné servopohony) a komfort cestujících (rádio apod.). Výkonnější zařízení vyžadují pro svou funkci nastartovaný spalovací motor, který elektřinu vyrábí pomocí alternátoru.

Nevýhodou vozidel se spalovacími motory jsou emise výfukových plynů, obsahující lokálně škodlivé složky (pevné částice, oxidy dusíku) i globálně škodlivé složky (emise CO<sub>2</sub>). Lokálně škodlivé složky jsou v Evropské unii regulovány emisními normami Euro, přičemž pro nová osobní auta v současnosti platí emisí norma Euro 6d. Dále jsou regulovány flotilové emise CO<sub>2</sub> (průměrné emise připadající na prodané nové vozidlo výrobce), kde v současnosti platí limit 95 g/km (konkrétní hodnota pro každého výrobce se mírně liší v závislosti na hmotnosti prodaných vozidel). Emise se měří v laboratořích při měřícím cyklu WLTC, přičemž některé se dále kontrolují i v reálném provozu s využitím metodiky RDE. [23]

Ačkoliv byly snahy o snižování emisí narušeny manipulacemi při jejich měření ze strany výrobců (aféra „Dieselgate“ v roce 2015), dochází k jejich znatelnému snižování (patrně z grafů A1 a A2). Od roku 1990 do roku 2020 došlo dle ICCT v případě emisí oxidů dusíku a pevných částic pocházejících z osobní automobilové dopravy k poklesu přibližně o 70 % [26], přestože zároveň došlo k výrazném nárůstu dopravních výkonů. Emise CO<sub>2</sub> připadající na klasické spalovací vozidlo klesly mezi roky 2001 a 2020 o 29 % (celkový pokles je vlivem nástupu alternativních pohonů 35 %), celkové emise CO<sub>2</sub> z osobní automobilové dopravy však vlivem nárůstu dopravních výkonů mezi roky 1990 a 2020 vzrostly přibližně o 25 % [26]. Zároveň došlo k nárůstu hmotnosti o 15 % a výkonu motoru o 43 % (v případě pouze spalovacích vozidel o 12 %, resp. 37 %) [26]. V budoucnu by mělo být možné emise CO<sub>2</sub> minimalizovat pomocí syntetických paliv, vyráběných s využitím čisté elektřiny. Jejich nevýhodou je menší energetická účinnost oproti jiným zdrojům (či spíše nosičům) energie (12-20 % oproti 25-35 % v případě vodíku a 70-80 % v případě baterií) [35]. Výhodou je naopak vysoká energetická hustota, jednoduché skladování a rychlé a technicky nenáročné tankování, což může být v některých aplikacích výhodné. Syntetická paliva lze použít i pro pohon spalovacích motorů hybridů nebo range extenderů. [23]



Grafy A1 a A2: Reálné emise oxidů dusíku dle normy Euro (vlevo diesel, vpravo benzín) [26]

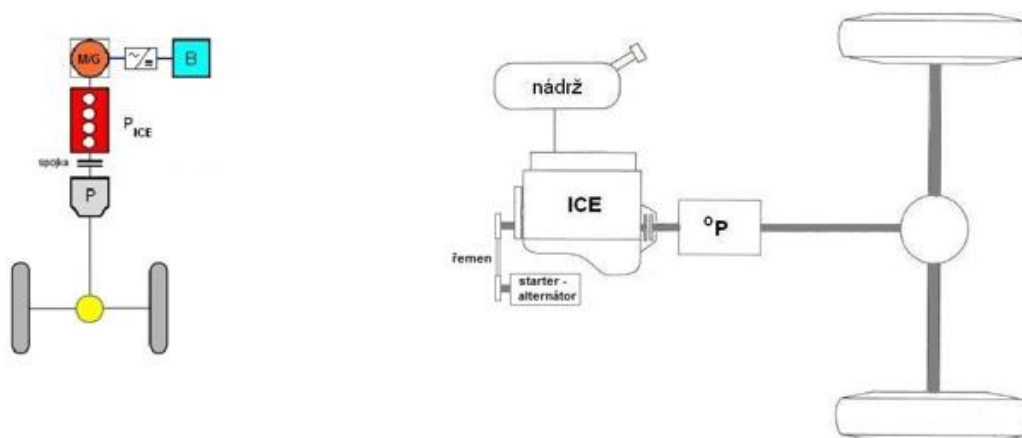
V současnosti je většina nových vozidel se spalovacími motory vybavena systémem start-stop, který vypíná motor při zastavení vozidla, což vede k mírnému snížení spotřeby paliva a emisí. K vypínání dochází, pokud jsou k tomu splněny podmínky – například pouze pokud je motor dostatečně zahřátý. Pokud by při delším čekání (např. v koloně) motor ochladl pod požadovanou úroveň, řídicí jednotka vozidla jej z důvodu zahřátí sama opět spustí. Vybavení vozidla systémem start-stop vyžaduje silnější alternátor a startovací baterii, někdy bývá nutné řešit jinak napájení např. klimatizace, aby při vypnutí motoru systémem start-stop nedocházelo k jejímu vypínání. [23]

Vozidla se systémem start-stop se někdy označují jako „micro hybridy“, jedná se však spíše o marketingové označení, protože elektromotor se přímo k pohonu vozidla nepoužívá, změna oproti konvenčnímu spalovacímu vozidlu je pouze ve zmíněném jiném řešení napájení některého příslušenství. [23]

Přestože podíl klasických vozidel se spalovacími motory na trhu klesá, stále se jedná o nejprodávanější typ pohonu, jehož podíl v EU dosahoval v roce 2020 společně s mild hybridy 84,4 %. Podíl vznětových vozidel klesá rychleji než zážehových. [26]

## 2 Mild hybrid

V případě mild hybridů je hlavní pohonnou jednotkou spalovací motor, který je doplněn elektromotorem o výkonu 5-15 kW a baterií s obvyklou kapacitou kolem 0,5 kWh. Elektromotor bývá umístěn místo alternátoru (systém BSG) a funguje i jako generátor. Někdy tento systém nahrazuje i startér. Vozidlo není schopno jízdy pouze na elektřinu (s výjimkou popojíždění při parkování apod.), elektromotor slouží primárně jako booster při požadavku na rychlé zvýšení výkonu a pro omezenou rekuperaci při brzdění. Systém lze spojit s tzv. superchargerem, což je elektrický kompresor, který v případě potřeby zvýšení výkonu rychle zvýší přepletování motoru. Systém pracuje obvykle s napětím 48 V, přičemž palubní 12V síť je zachována (některé náročnější spotřebiče nicméně mohou využít i dostupnou 48V síť, např. klimatizace). Napájení příslušenství těchto vozidel je řešeno tak, aby bylo funkční (po určitou dobu) i při vypnutém spalovacím motoru. Mild hybridy pro optimální funkci obvykle vyžadují automatickou převodovku, což zvyšuje jejich cenu oproti levnějším klasickým spalovacím vozidlům s manuální převodovkou. [23] [29]



Obrázek A1: Schéma mild hybridu [23]

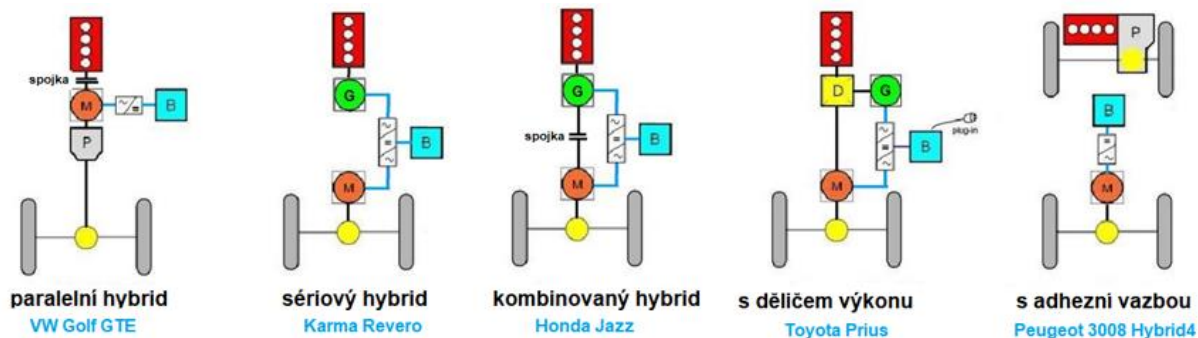
V porovnání s klasickými hybridy se jedná o cenově dostupnou technologii s jednodušší zástavbou do vozidla. Přínosy na straně nižší spotřeby jsou však omezenější – pohybují se kolem 5 % v porovnání s 20 % u full hybridů. Vzhledem k jednoduchosti a nízkým nákladům v současnosti tržní podíl mild hybridů roste. Mild hybridy se někdy označují zkratkou MHEV, v některých statistikách jsou počítány dohromady s full hybridy, někdy se naopak započítávají mezi klasická spalovací vozidla. [23] [26] [29]

### 3 Full hybrid

U full hybridů je hlavní pohonnou jednotkou spalovací motor, který je běžně spojen s elektromotorem o výkonu 30-100 kW a baterií o kapacitě kolem 1,5 kWh. Tato baterie je dobíjena spalovacím motorem a při rekuperaci. Elektromotor a baterie slouží primárně k umožnění chodu spalovacího motoru v maximální možné míře v jeho nejefektivnějším provozním režimu, čehož je docíleno tím, že v případě požadavku na vyšší výkon je tento výkon dodán elektromotorem napájeným z baterie, kterou spalovací motor dobíjí ve chvílích, kdy efektivně poskytuje vyšší výkon, než je potřeba pro pohyb vozidla (a dále se dobíjí při rekuperaci). V případě požadavku na nižší výkony mohou jet full hybridy i čistě na elektřinu, dojezd se v tomto případě pohybuje kolem 5 km, což je dostatečné například pro přejetí větší části krajského města bez emisí výfukových plynů. Úspora paliva se pohybuje kolem 20 %, záleží však na charakteru provozu a chování uživatele. Full hybridy používají elektroniku s napětím až 400 V. [23] [29]

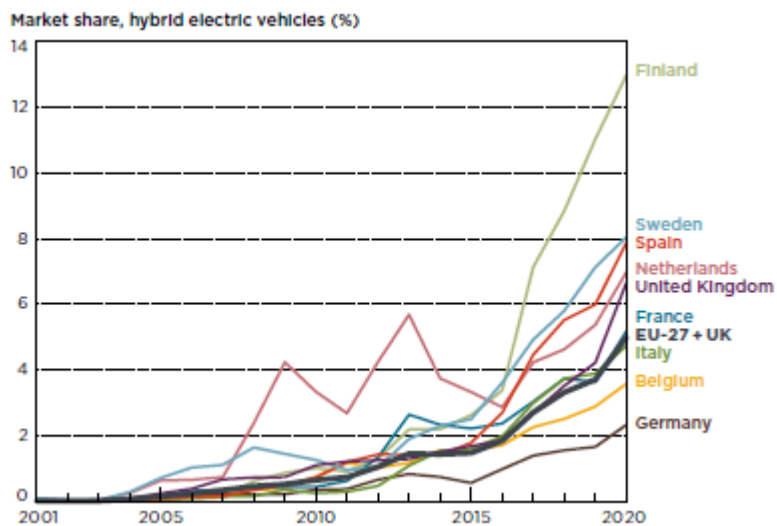
V případě full hybridů existuje řada rozdílných konstrukčních řešení. Základními typy uspořádání jsou paralelní hybrid a sériový hybrid (obrázek A2). V případě paralelního uspořádání je elektromotor připojen mezi motorem a převodovkou, nebo mezi převodovkou a nápravou. Výhodou je poměrně kompaktní konstrukce a sčítání výkonů spalovacího motoru a elektromotoru, naopak nevýhodou je pevná mechanická vazba elektromotoru na otáčky spalovacího motoru nebo nápravy, což neumožňuje vždy provoz v optimálních otáčkách. Druhou variantou je sériový hybrid, v jehož případě není mechanická vazba mezi spalovacím motorem a nápravou. Spalovací motor roztáčí generátor, z kterého jde elektřina přes měnič do baterie nebo do elektromotoru na nápravě. Výhodou tohoto uspořádání je provoz spalovacího motoru v optimálním režimu a při vhodném elektromotoru také není potřeba převodovka. Nevýhodou je potřeba větších elektromotorů (a s tím související vyšší hmotnost) a dvě energetické přeměny, což má negativní vliv na celkovou účinnost pohonu. [23]

I když mezi oběma variantami není velký rozdíl v celkové úspoře, je každý z těchto pohonů výhodnější v jiné aplikaci – ve městě s nízkou průměrnou rychlostí a četným zastavováním je úspornější sériový hybrid, na delších cestách s vyšší průměrnou rychlostí zase paralelní hybrid, protože se zde více uplatňuje mechanické propojení spalovacího motoru s nápravou, které má vyšší přenosovou účinnost. Proto existují různé kombinované varianty, které umožňují více režimů provozu. Některé z nich jsou znázorněny na obrázku A2. [23]



Obrázek A2: Schémata variant full hybridu [23]

Podíl hybridů na trhu v současnosti roste, jak je zřejmé z grafu A3. Pro full hybridy se běžně používá zkratka HEV, případně FHEV. [23]



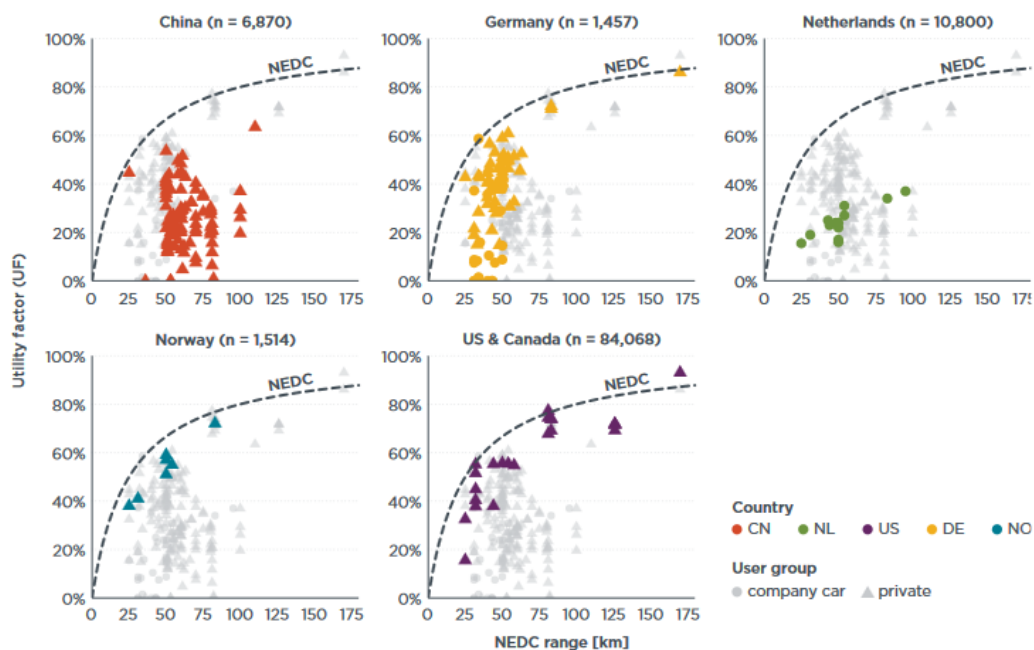
Graf A3: Tržní podíl full hybridů [26]

## 4 Plug-in hybrid

Plug-in hybridy se základním konstrukčním řešením příliš neliší od full hybridů, na rozdíl od nich však mají větší baterii (zpravidla 10-15 kWh), se kterou lze ujet čistě na elektřinu několik desítek kilometrů, a kterou lze dobíjet z nabíjecí stanice. S tímto dojezdem již je pro mnoho uživatelů možné dojíždět každý den do práce i z práce na elektřinu, zároveň však uživatelé nejsou omezováni kratším dojezdem na delších cestách. Oproti full hybridům bývá v plug-in hybridech také výkonnější elektromotor. [23]

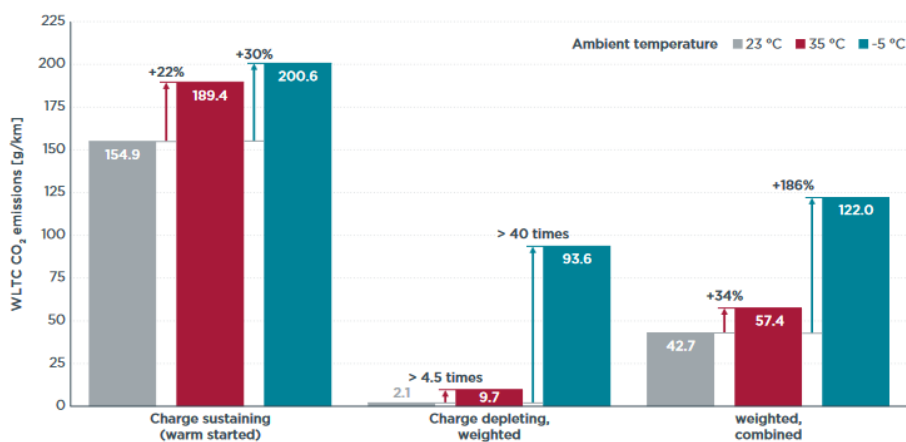
Úspora paliva může být až 80 %, značně však závisí na charakteru provozu, konkrétněji na tom, jak moc uživatelé využívají jízdu na elektřinu, což závisí na uživatelích i vnějších vlivech – např. na počasí. Studie ICCT porovnávala data z Číny, USA a Kanady, Německa, Norska a Nizozemí u soukromých a služebních vozidel (obě skupiny však byly zastoupeny pouze v případě Německa). Ze studie vyplynulo, že zatímco v rámci homologačního cyklu NEDC ujela soukromá vozidla zahrnutá ve studii průměrně 69 % vzdálenosti na elektřinu a služební 63 % vzdálenosti, v reálu ujela soukromá vozidla na elektřinu průměrně 37 % vzdálenosti (v Německu 43 %, v Norsku 53 %, v USA a Kanadě 54 % a v Číně 26 %) a služební 20 % (v Německu 18 %, v Nizozemí 24 %). Reálná spotřeba plug-in hybridů v Evropě je tedy oproti normované zhruba dvojnásobná v případě soukromých vozidel a tři až čtyřnásobná v případě vozidel služebních. Je však nutné zmínit, že ačkoliv využívala daná vozidla elektřinu méně často, než předpokládá norma, ujela tato vozidla v absolutních číslech na elektřinu velkou vzdálenost – 5 000-10 000 km/rok v případě vozidel s elektrickým dojezdem 30-60 km a 12 000-20 000 km/rok v případě vozidel s elektrickým dojezdem 80 km a více, což odpovídá běžnému ročnímu nájezdu v USA a v Německu. Jedná se tedy většinou o vozidla s vysokými ročními nájezdy a uspořené emise v absolutních číslech nejsou zanedbatelné. Jak bylo zmíněno na začátku odstavce, kromě chování uživatelů ovlivňuje podíl vzdálenosti ujeté na elektřinu také počasí. V létě zvyšuje spotřebu a emise CO<sub>2</sub> klimatizace (přibližně o třetinu), v zimě pak nárůst způsobuje topení spalovacím motorem pro potřeby cestujících i vyhřívání katalyzátoru, přičemž tento nárůst je výraznější (spotřeba i emise CO<sub>2</sub> vzrostou zhruba na trojnásobek). [36] [37]





**Figure 2. Utility factor of PHEVs with different all-electric range by country.** The average specific utility factors (UFs) of individual PHEV model-variants are shown as observed in our sample for private vehicles (triangles) and company cars (circles) with the NEDC UF (dashed). The grey dots are the full sample and each plot shows data from one country by color.

Graf A4: Reálný a normovaný podíl vzdálenosti ujeté na elektřinu v závislosti na dojezdu [36]

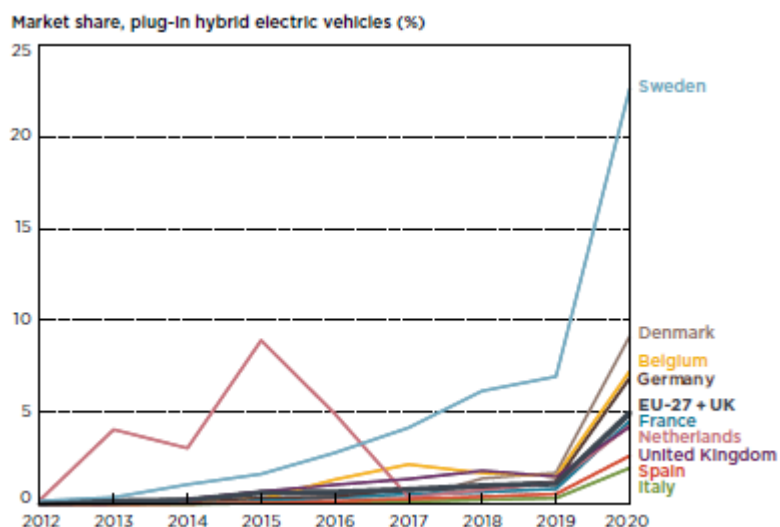


**Figure.** Effect of ambient temperature and use of air-conditioning on WLTC CO<sub>2</sub> emissions. The data shown uses the second WLTC of the charge-depleting sequence as transition cycle for all temperatures, and the utility factor is therefore 0.73.

Graf A5: Emise CO<sub>2</sub> plug-in hybridů v závislosti na teplotě [37]

Vzhledem k relativně velké úspoře paliva oproti klasickým spalovacím vozidlům, a naopak nižší ceně a většímu celkovému dojezdu oproti elektromobilům, jsou plug-in hybridy v současnosti poměrně atraktivním produktem. Do budoucna je otázkou možná změna výpočtu spotřeby, která by mohla vést ke zvýšení normované spotřeby a tím ke snížení výhodnosti plug-in hybridů z pohledu flotilových emisí a jiných benefitů. Z ekonomického hlediska nedává při zanedbání subvencí nákup plug-in hybridu smysl, pokud ho provozovatel nemá zájem nabíjet – v takovém případě se plug-in hybrid chová jako full hybrid, ale veze

s sebou navíc zbytečně velkou baterii, která svou hmotností přispívá k vyšší spotřebě paliva. Při nevhodném nastavení subvencí nicméně může dojít k situaci, kdy se vyplatí zákazníkovi plug-in hybrid i v případě, kdy by pro něj byl vhodnější jiný pohon (např. full hybrid). Podpora prodeje plug-in hybridů může mít různou podobu – od přímých dotací na koupi, přes úlevy v oblasti parkování až po benefity plynoucí z vykazované udržitelnosti firemních flotil. Důležité je, aby tyto prostředky podpory byly nastavené s ohledem na okrajové podmínky, při kterých provoz plug-in hybridů přináší skutečné ekologické benefity. Jedná se například o požadavek na nabíjecí infrastrukturu nebo motivaci zaměstnanců k nabíjení. [36]



Graf A6: Tržní podíl plug-in hybridů [26]

Plug-in hybridy se běžně označují zkratkou PHEV, někdy se řadí do kategorie ECV (elektrická nabíjecí vozidla) společně s elektromobily a vozidly s palivovými články. Na rozdíl od elektromobilů většinou nedisponují rychlonabíjením. [23]

## 5 Hybridní elektromobil

Hybridní elektromobily jsou velmi podobné plug-in hybridům s větším elektrickým dojezdem (ke kterým se také někdy řadí, zejména pak ve statistikách), odlišují se však filozofií řízení pohonu a s ní souvisejícím dimenzováním komponent, případně mohou být postaveny na elektromobilní platformě (rozdíly mezi platformami jsou popsány v části 7). Hlavní pohon je zde zajištěn elektromotorem, spalovací motor slouží v případě vybité baterie k jejímu dobíjení a přímému pohonu vozidla. Spalovací motor má menší výkon než elektromotor, nicméně jeho výkon je dostatečný k tomu, aby vozidlo samostatně poháněl. Dále jsou vybaveny elektrickým topením, které umožňuje plně elektrický provoz za každého počasí. Hybridní elektromobily bývají vybaveny rychlonabíjením, jehož výkon je však menší než u bateriových elektromobilů (většinou nižší desítky kW). Příkladem hybridního elektromobilu je Mitsubishi Outlander PHEV. [23] [38]

## **6 Elektromobil s range extenderem**

Elektromobil s range extenderem (prodlužovačem dojezdu) je elektromobil vybavený malým spalovacím motorem, který lze použít k dobití baterie. Výkon tohoto spalovacího motoru je nedostatečný k samostatnému pohonu vozidla, což odlišuje elektromobil s range extenderem od hybridního elektromobilu. Dalším odlišením je větší baterie, která běžně umožňuje vozidlu dojezd přes 200 km. Příkladem elektromobilu s range extenderem je BMW i3 REX, které bylo vybaveno malým spalovacím dvouválcem o obsahu 0,65 l s výkonem 20 kW (špičkově 28 kW), který prodlužoval dojezd o 120 až 150 km. Od roku 2018 již provedení s range extenderem není v nabídce, bylo nahrazeno provedením s větší baterií. Elektromobily s range extenderem, někdy značené jako EREV, se běžně řadí mezi elektromobily, v současnosti však pravděpodobně není na evropském trhu žádné sériově vyráběné vozidlo. Důvodem je pokrok na straně kapacity baterií. [23] [28]

## 7 Bateriový elektromobil

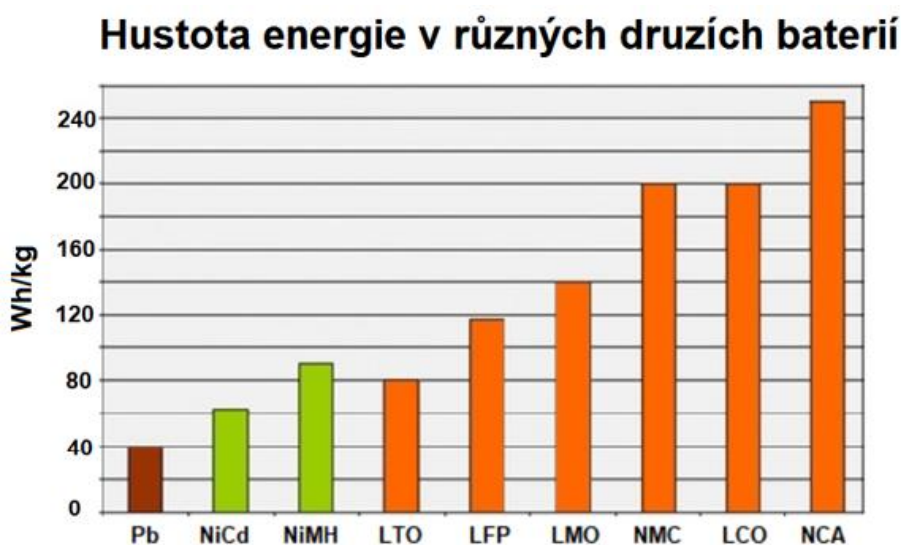
Bateriové elektromobily využívají pro svůj pohon elektromotory napájené trakční baterií. Kapacita této baterie se v současnosti pohybuje nejčastěji mezi 30 a 100 kWh, což poskytuje dojezd 200 až 500 km. Celkově má vývoj kapacity baterií i délky dojezdu rostoucí trend. Nevýhodou elektromobilů oproti vozidlům se spalovacími motory je výrazně delší doba nabíjení oproti tankování. Z důvodu jejího zkrácení se v současnosti budují rychlonabíjecí stanice, přičemž výkon těch nejvýkonnějších dosahuje až 350 kW. Nabíjecí výkon je kromě výkonu nabíjecí stanice limitován i parametry vozidla – většina současných modelů není schopna takto velký výkon využít – jejich maximální nabíjecí výkon je 100-250 kW, přičemž tyto hodnoty není možné využít v celém spektru nabíjení. Doba nabíjení z 10 do 80 % se tak pohybuje mezi 20 a 40 min, z 10 do 100 % pak mezi 40 a 80 min. Výkonová elektronika elektromobilů standardně pracuje s napětím 400 V nebo 800 V (zejména dražší a výkonnější vozidla). Technologiím nabíjení se dále věnuje část 2.1.2 v hlavní práci a příloha B. Výhodou elektromobilů je velké zrychlení elektromotorů a nízko umístěné těžiště. [23] [24]

Konstrukce elektromobilů se odlišuje od konstrukce klasických aut se spalovacími motory, a to zejména ze dvou důvodů – elektrický pohon vyžaduje méně prostoru pod kapotou oproti spalovacímu motoru, a naopak baterie vyžaduje více prostoru v podlaze vozu než palivová nádrž na tekutá paliva. Baterie bývá standardně umístěná pod podlahou prostoru pro cestující mezi nápravami, přičemž aby byl tento prostor dostatečně velký, mívají elektromobily větší rozvor než spalovací vozidla. Uvolněný prostor pod přední kapotou bývá někdy využitý pro dodatečný malý úložný prostor, tzv. frunk.



Obrázek A3: Srovnání platformy pro elektrická (vlevo) a spalovací vozidla (vpravo) [39]

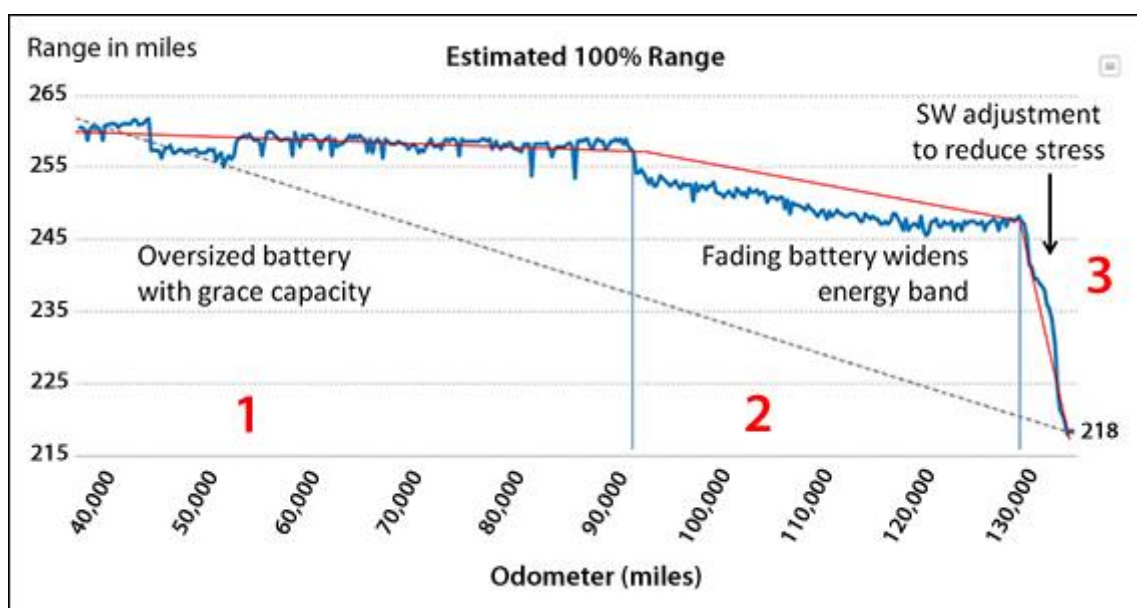
Zásadní komponentou elektromobilu je baterie, jejíž základní parametry byly popsány v předchozích odstavcích. Baterie se skládá z jednotlivých článků (může jich být až několik set), termoregulačního systému (zajišťuje chlazení nebo vyhřívání podle počasí, v současnosti se v této oblasti rozšiřují tepelná čerpadla), řídicí a kontrolní elektroniky, nosné struktury a pláště. Jednotlivé bateriové články se skládají z katody (v současnosti nejčastěji na bázi lithia), uhlíkové anody, elektrolytu a obalu. Existuje více druhů baterií/článků s různým chemickým složením, které se liší svými vlastnostmi jako je energetická hustota, počet cyklů (životnost), bezpečnost (rizikovost) nebo maximální dodávaný výkon vzhledem ke kapacitě (parametr C – udává, jaký výkon je schopna baterie dodat (kW) v násobcích její kapacity (kWh)). V současnosti jsou nejrozšířenější baterie typu NMC, používají se ale i NCA (vyšší energetická hustota, menší počet cyklů), LFP (bezpečnější, menší energetická hustota a menší počet cyklů), LCO (méně bezpečné, menší počet cyklů) a LTO (velká hodnota parametru C (8-12), menší energetická hustota, větší počet cyklů). Energetická hustota bateriových článků dosahuje hodnot až kolem 0,25 kWh/kg, energetická hustota celé baterie včetně příslušenství (obal, elektronika, chlazení) se pohybuje kolem 0,15 kWh/kg. [23] [40]



Graf A7: Hustota energie v různých druzích baterií [23]

Kapacita baterie se během používání postupně snižuje. Životnost baterie negativně ovlivňují vysoké a nízké teploty, počet cyklů, stáří, vysoké nabíjecí výkony a dlouhé ponechání baterie v plně nabitém nebo vybitém stavu. V praxi se v různé míře projevují všechny zmíněné jevy. Konkrétně dochází k degradaci materiálů elektrod a růstu vnitřního odporu. Výrobci se snaží problémům přecházet řadou opatření. Zásadní je termomanagement, který spočívá

v udržování baterie v optimálním rozmezí teplot. Kromě vyhřívání a chlazení baterie se v případě starších baterií s již vyšším vnitřním odporem využívá i snížení nabíjecího výkonu při rychlonabíjení. Dále řídicí systém baterie hlídá, aby nedošlo k přílišnému vybití nebo nabití baterie a upravuje nabíjecí výkon s ohledem na životnost a bezpečnost (z tohoto důvodu se při nabíjení nevyužívá plný výkon nabíjecí stanice po celou dobu). Dalším významnějším opatřením je použití větší baterie s blokovanou částí kapacity pro zabránění velmi nízkému a velmi vysokému procentuálnímu stavu nabití (tedy zmenšení využívaného procenta kapacity baterie) za účelem omezení její degradace a pro kompenzaci této degradace. Jak baterie postupně degraduje, dochází k postupnému uvolňování této rezervy, v důsledku čehož není degradace jistou dobu pozorovatelná (část 1 v grafu A8). Jakmile dojde degradace do určité fáze, dochází k omezování využitelné kapacity, a tím i snižování dojezdu (část 2 v grafu A8). Část 3 v grafu A8 pak zobrazuje situaci, kdy došlo ke skokovému snížení kapacity baterie vytvořením nové rezervy. V praxi se ukazuje, že kilometrická životnost baterií je podobná životnosti celého auta, z hlediska stáří však ještě nejsou k dispozici např. 20 let staré elektromobily moderní konstrukce. Standardní záruka na baterii je 8-10 let nebo 160 000-240 000 km. [23] [41]



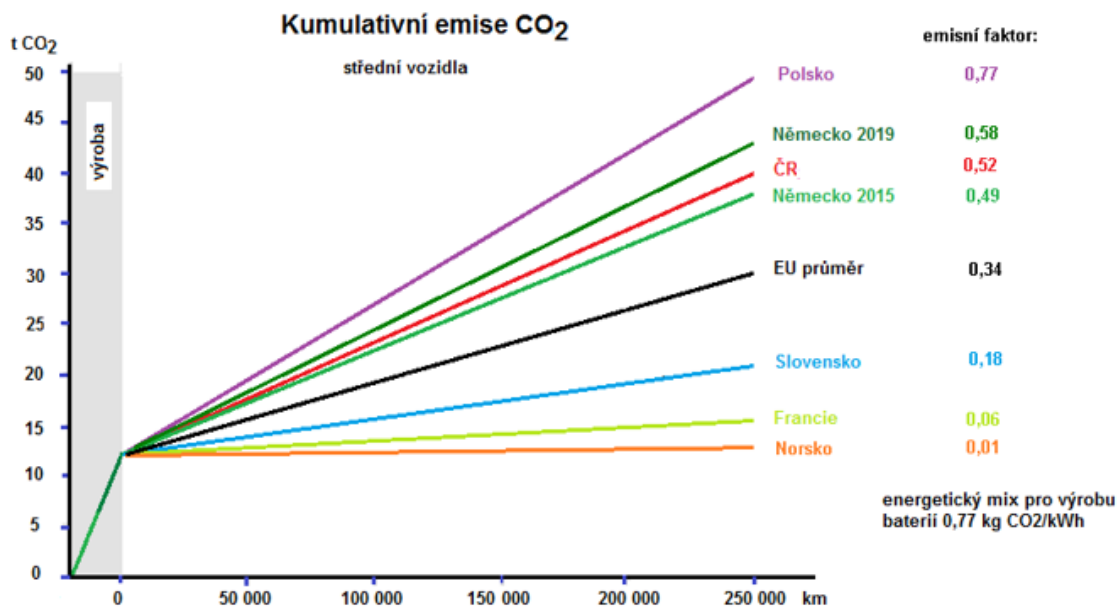
Graf A8: Degradace baterie v závislosti na nájezdu (Tesla, 85 kWh) [41]

Hlavním důvodem pro elektrifikaci automobilové dopravy je v současnosti snaha o snížení emisí výfukových plynů, a to jak těch lokálně škodlivých (pevné částice, oxidy dusíku), tak těch škodlivých globálně (CO<sub>2</sub>). Bateriové elektromobily snižují obě tyto skupiny emisí na nulu. Ačkoliv však jsou výfukové emise produkovány přímo vozidlem nulové, celkové

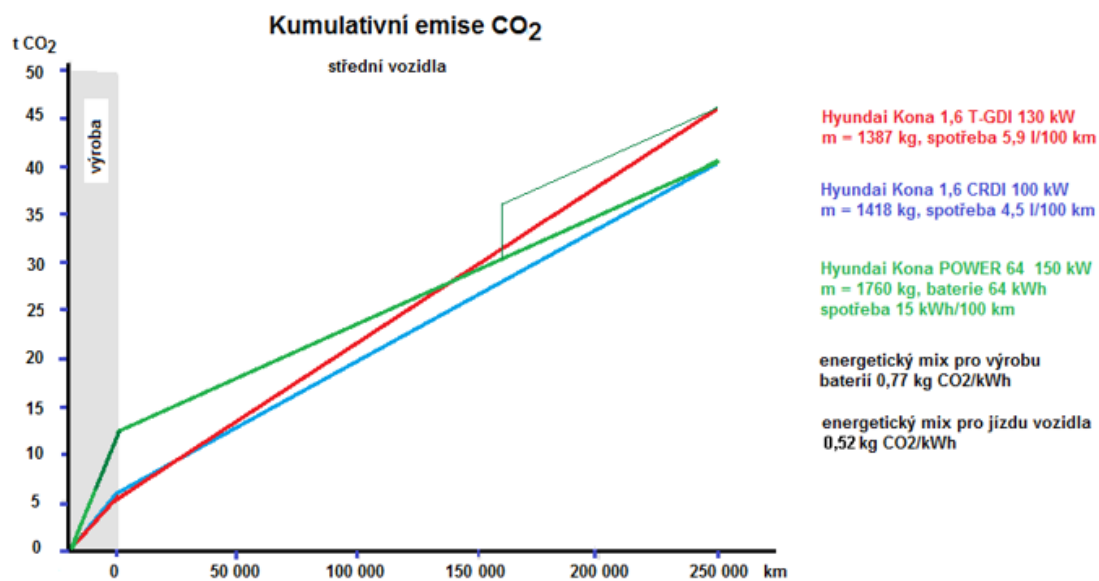
emise z provozu vozidla nulové nejsou, protože se přesouvají z vozidla do elektrárny. Celková bilance pak závisí na zdroji elektřiny – pokud někdo vlastní fotovoltaickou elektrárnu, která mu vyrobí většinu elektřiny potřebné k nabíjení vozidla, pak jsou emise minimální, pokud je elektromobil nabíjen přímo ze sítě, pak závisí na energetickém mixu. V zemích využívajících ve velké míře čisté zdroje elektrické energie, jako jsou obnovitelné zdroje (Norsko) a jaderné elektrárny (Francie), jsou provozní emise elektromobilů minimální, pokud však pochází většina elektrické energie z elektráren spalujících fosilní paliva (Polsko), pak jsou provozní emise elektromobilů podobné emisím vozidel se spalovacími motory (náhorně zobrazeno v grafech A9 a A10). [23] [42] [43] [44] [45]

Srovnáváním celkové emisní bilance se zabývala řada studií (Jan Macek a Josef Morkus 2021 [42], ADAC 2019 [43], ICCT 2021 [44], Transportation & Environment 2020 [45]) jejich výsledky jsou však značně rozdílné. Výsledky pro střední vozidlo ze studie Jana Macka a Josefa Morkuse z roku 2021 [42] jsou zobrazeny v grafech A9 a A10. Emise je nutné počítat pro celý životní cyklus vozidla, protože rozdílné technologie pohonu mají různé emise v různých stádiích životního cyklu. V první řadě je nutné spočítat emise vyprodukované při výrobě vozidla. V této oblasti mají elektromobily vyšší emise než klasická spalovací auta kvůli emisím vyprodukovaným při výrobě baterií. V tomto se shodují všechny zmíněné studie, konkrétní hodnoty se však liší (emise z výroby elektromobilu se ve studiích pohybují od 125 % do 200 % emisí z výroby vozidla se spalovacím motorem). Největší odlišnosti jsou ve fázi provozu. V případě emisí CO<sub>2</sub> elektromobilů je nutné počítat s nabíjecími ztrátami, ztrátami v rozvodné síti a s uhlíkovou intenzitou výroby elektřiny. V případě vozidel se spalovacími motory je potřeba počítat s emisemi vzniklými při výrobě a distribuci paliva a emisemi vzniklými samotným spalováním v motoru vozidla. Právě v provozní fázi se studie nejvíce odlišují, zejména množstvím emisí souvisejících s výrobou a distribucí paliva (hodnoty se pohybují od 10 % do 30 % emisí vzniklých jeho spálením v motoru) a v energetickém mixu, kde některé studie počítají s postupným poklesem uhlíkové intenzity elektřiny (který je očekávatelný, ale jeho odhad je problematický). Další odlišností studií je jejich přístup k výsledkům – některé se soustředí spíše na určení kilometrického bodu zvratu, od kterého je bilance elektromobilu příznivější, jiné srovnávají emise při stanoveném kilometrickém nájezdu vozidla, přičemž volba této hodnoty může značně ovlivnit celkový výsledek. Vzhledem k velkým odlišnostem ve studiích jsou žádoucí další výzkumy v této oblasti. [42] [43] [44] [45]





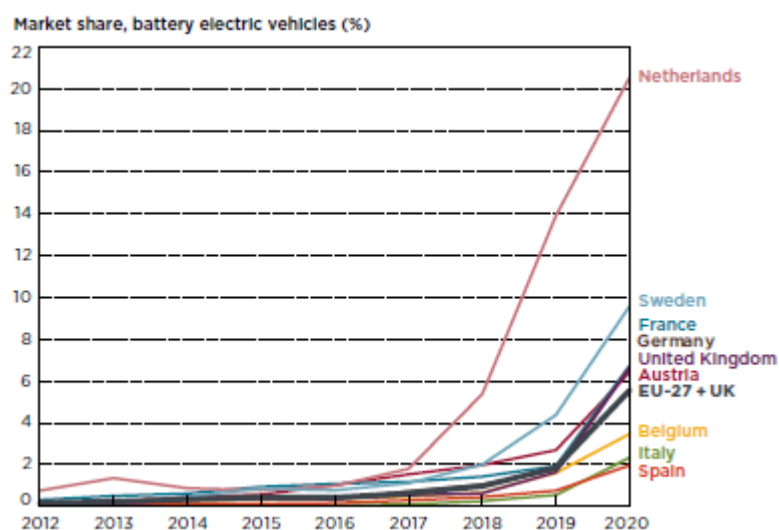
Graf A9: Celkové emise CO<sub>2</sub> středního elektromobilu v závislosti na energetickém mixu [42]



pozn.: tenká zelená čára u elektromobilu znázorňuje situaci v případě výměny baterie po 160 000 km

Graf A10: Celkové emise středního vozidla v závislosti na pohonu [42]

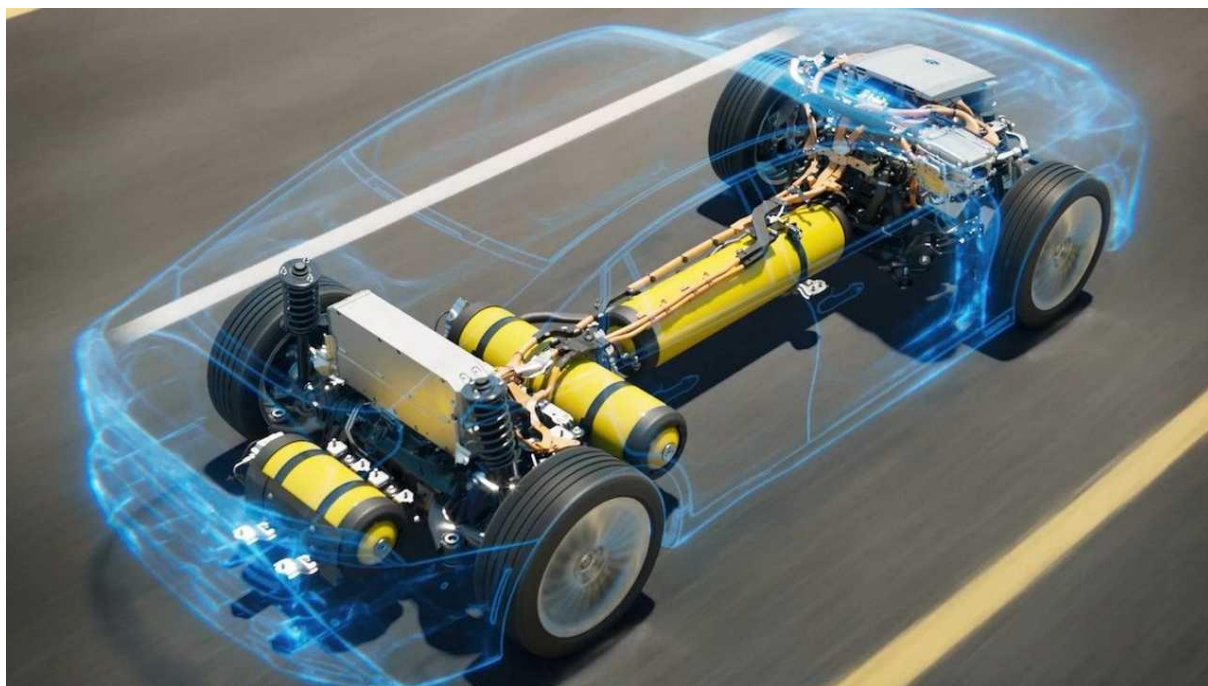
Bateriové elektromobily se obvykle označují jako BEV nebo EV, někdy se počítají dohromady s plug-in hybridy a vodíkovými automobily mezi nabíjecí vozidla ECV. V současné době prodeje elektromobilů výrazně rostou, což je dáno již mnohokrát zmiňovanou snahou o snižování emisí. Cena elektromobilů je oproti vozidlům se spalovacími motory poměrně vysoká (zejména v případě méně luxusních vozidel) a úroveň některých jejich užitných vlastností je i přes neustálé zlepšování stále pro řadu zákazníků nedostatečná (někteří však naopak oceňují velké zrychlení, možnost domácího nabíjení nebo ekologii), proto jsou prodeje elektromobilů podporovány různými typy subvencí a regulací (např. flotilové emise). [23]



Graf A11: Tržní podíl elektromobilů [26]

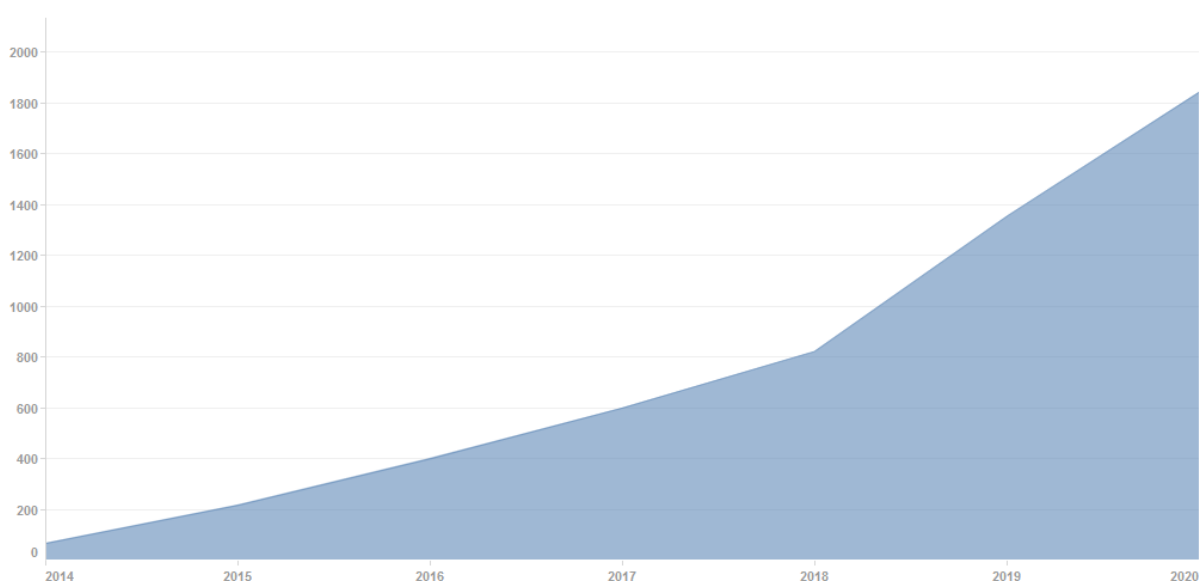
## 8 Vozidlo s palivovým článkem

Alternativou k bateriovému elektromobilu je vozidlo s palivovým článkem na vodík. Jedná se o elektrické vozidlo, u kterého není pohon napájen z baterie, ale pomocí palivového článku, který elektřinu vyrábí ze stlačeného vodíku uloženého v nádržích vozidla. Ačkoliv má vodík sám o sobě velkou energetickou hustotu, jeho objemová hustota je malá, proto je ho nutné stlačovat nebo zkapalňovat a uchovávat v tlakových nádobách (u osobních aut se používá stlačení na 700 barů, u větších vozidel na 350 barů). Celý pohonný systém je tedy poměrně rozměrný a těžký. Přestože jsou tyto hodnoty lepší než u elektromobilů, je zástavba vodíkového pohonu náročnější, protože baterie elektromobilu lze uspořádat do relativně tenké vrstvy pod podlahu kabiny, vodíkové nádrže však mají méně skladný tvar, čímž omezují prostornost vozidla. Palivový článek funguje efektivně v omezeném výkonovém rozsahu, proto jsou vozidla s palivovými články vybavena i malou baterií, jejíž parametry jsou podobné jako v případě baterií full hybridů (kapacita se pohybuje kolem 1,5 kWh). Kromě výroby elektřiny pomocí palivových článků lze vodík také spalovat ve spalovacích motorech, je to však méně efektivní. Oproti uložení elektřiny do baterií a jejímu následnému využití pro pohon má výroba vodíku pomocí elektrolýzy a následná výroba elektrické energie vodíkovými palivovými články menší účinnost, která se pohybuje mezi 25 a 35 % oproti 70 až 80 % u bateriového elektromobilu [35]. [23] [46] [47]



Obrázek A4: Zástavba vodíkového pohonu Toyoty Mirai [46]

Výhodou vodíkových aut oproti elektromobilům je delší dojezd a rychlejší tankování, v současnosti však není infrastruktura pro tankování příliš rozvinutá. V Německu ke konci roku 2019 bylo 87 plnicích stanic, v České republice je jedna neveřejná v ÚJV Řež a připravují se další tři veřejné (v Praze, v Brně a v Litvínově) [48]. Do roku pak 2030 plánuje skupina Orlen Unipetrol provozovat v České republice 28 plnicích stanic. Jedna vodíková plnicí stanice stojí přibližně 1 milion EUR [48], mobilní vodíková plnicí stanice pak 1,5 až 1,8 milionů EUR [49]. Jedná se o větší částky než v případě rychlonabíjecích stanic (standardní stojí kolem 750 tisíc CZK, ty nejvýkonnější kolem 3 milionů CZK [50]), nicméně vzhledem k vyššímu dojezdu a kratší době tankování by jich měl postačovat menší počet. Kromě nedostupnosti plnicích stanic je v současnosti problémem i cena samotného vodíku, která se v Německu pohybuje kolem 9,50 EUR za kg vodíku [47], což při spotřebě 0,8-1,2 kg/100 km [46] [47] a měnovém kurzu 1 EUR = 25 CZK vychází na 1,9-2,85 CZK na km, což je více než v případě elektromobilů a přibližně stejně jako u spalovacích vozidel. Dále je negativem vodíkových aut i vysoká pořizovací cena, která se u stávajících vozidel pohybuje mezi 1,7 a 2 mil. CZK [31] [46]. Vzhledem k těmto nevýhodám jsou prodeje vodíkových aut nízké, což dokládá graf A12. Jedná se však o technologii, která je stále ve vývoji a do budoucna je pravděpodobné snížení nákladů. Vodíkové automobily se běžně označují zkratkami FCEV nebo FCV, někdy se také řadí do kategorie nabíjecích vozidel ECV společně s bateriovými elektromobily a plug-in hybridy, přestože se nejedná o nabíjecí vozidla (jedná se však o vozidla, která pro získání elektřiny nevyužívají spalovací motor). [23]



Graf A12: Prodeje automobilů s palivovými články v EU [27]

## Zdroje

- [23] MORKUS, Josef. Přednášky předmětu Hybridní pohony. Praha: ČVUT, 2021.
- [24] Nabíjíme elektromobil. FDrive.cz [online]. 24net, © 2022 [cit. 2022-05-12].  
Dostupné z: <https://fdrive.cz/serialy/nab%C3%ADjime-elektromobil>
- [26] European vehicle market statistics 2021/2022. International Council on Clean Transportation [online]. International Council on Clean Transportation., © 2021 [cit. 2022-05-14]. Dostupné z: <https://theicct.org/publication/european-vehicle-market-statistics-2021-2022/>
- [27] Net Number of FCEVs in Europe. The Fuel Cells and Hydrogen Observatory [online]. The Fuel Cells and Hydrogen Observatory [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.fchobservatory.eu/observatory/technology-and-market/net-number-of-fcevs-annual>
- [28] BMW i3 REX se spalovacím motorem končí. Prý už není potřeba. Auto.cz [online]. Copyright CZECH NEWS CENTER, © 2001 - 2022 [cit. 2022-05-15].  
Dostupné z: <https://www.auto.cz/bmw-i3-rex-se-spalovacim-motorem-konci-pry-uz-neni-potreba-125012>
- [29] TUCSON: Technická data. Nové automobily a elektromobily Hyundai [online]. Hyundai Motor Czech, © 2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.hyundai.com/cz/modely/tucson-hybrid/ke-stazeni.html>
- [31] NEXO: Technická data. Nové automobily a elektromobily Hyundai [online]. Hyundai Motor Czech, © 2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.hyundai.com/cz/modely/nexo/ke-stazeni.html>
- [35] Batterieelektrisch vs. Brennstoffzelle (H<sub>2</sub>) vs. Power-to-X im Straßenverkehr: Energieeffizienz, Wirkung auf das Energiesystem, Infrastruktur, Kosten und Ressourcen. Zukunft Mobilität [online]. Dortmund [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.zukunft-mobilitaet.net/169895/analyse/elektroauto-brennstoffzelle-synthetische-kraftstoffe-ptx-ptl-kosten-infrastruktur-rohstoffe-energiebedarf-wirkungsgrad/>

- [36] Real-world usage of plug-in hybrid electric vehicles: Fuel consumption, electric driving, and CO2 emissions. International Council on Clean Transportation [online]. International Council on Clean Transportation, © 2021 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://theicct.org/publication/real-world-usage-of-plug-in-hybrid-electric-vehicles-fuel-consumption-electric-driving-and-co2-emissions/>
- [37] Plug-in hybrid vehicle CO2 emissions: How they are affected by ambient conditions and driver mode selection. International Council on Clean Transportation [online]. International Council on Clean Transportation, © 2021 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://theicct.org/publication/plug-in-hybrid-vehicle-co2-emissions-how-they-are-affected-by-ambient-conditions-and-driver-mode-selection/>
- [38] Mitsubishi Outlander PHEV podrobně: vyspělá technika elektromobilu v dobrodružné čtyřkolce. Hybrid.cz [online]. Chamanne, (c) 2006 - 2022 [cit. 2022-05-27]. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/mitsubishi-outlander-phev-podrobne-vyspela-technika-elektromobilu-v-dobrodruzne-ctyrkolce/>
- [39] Platform sharing: The many faces of MQB. CarExpert [online]. CarExpert, © 2022 [cit. 2022-05-27]. Dostupné z: <https://www.carexpert.com.au/car-news/platform-sharing-the-many-faces-of-mqb>
- [40] MACEK, Jan a Josef MORKUS. Kam kráčíš, elektromobilito?. ČVUT Fakulta strojní [online]. ČVUT FS, © 2014-2022 [cit. 2022-05-28]. Dostupné z: <https://www.fs.cvut.cz/verejnost/pr-media/pribehy-z-ustavu/kam-kracis-elektromobilito/>
- [41] BU-1003a: Battery Aging in an Electric Vehicle (EV). Battery University [online]. Isidor Buchmann, © 2022 [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com/article/bu-1003a-battery-aging-in-an-electric-vehicle-ev>
- [42] FRIVALDSKÝ, Michal, Michal PRAŽENICA, Roman KOŇARIK, Pavol ŠPÁNIK, Peter ČUBOŇ, Roman RADVAN a Vladimír RÁČEK. Elektromobilita. Žilina: Žilinská univerzita, 2019. Vysokoškolské učebnice. ISBN 978-80-554-1598-7.

- [43] Erdgas-Pkw mit bester Treibhausgas-Bilanz. ADAC Presse [online]. ADAC, © 2020 [cit. 2022-08-05]. Dostupné z: <https://presse.adac.de/meldungen/adac-ev/verkehr/erdgas-pkw-mit-bester-treibhausgas-bilanz.html>
- [44] A global comparison of the life-cycle greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars. International Council on Clean Transportation [online]. International Council on Clean Transportation, © 2021 [cit. 2022-08-26]. Dostupné z: <https://theicct.org/publication/a-global-comparison-of-the-life-cycle-greenhouse-gas-emissions-of-combustion-engine-and-electric-passenger-cars/>
- [45] How clean are electric cars?. Transport and Environment [online]. European Federation for Transport and Environment, © 2022 [cit. 2022-10-05]. Dostupné z: <https://www.transportenvironment.org/discover/how-clean-are-electric-cars/>
- [46] Toyota Mirai – Fascinující technické cvičení... ale to je vše. Garáž.cz [online]. Copyright © Seznam Zprávy [cit. 2022-10-06]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/testy-nova-auta-toyota-mirai-fascinujici-technicke-cviceni-ale-to-je-vse-21007344?noredirect=1>
- [47] Dává vodíkový pohon smysl? Nebo je budoucností elektromobilita?. FDrive.cz [online]. 24net, © 2023 24net s.r.o. [cit. 2022-10-06]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/dava-vodikovy-pohon-smysl-nebo-je-budoucnosti-elektromobilita-7346>
- [48] V Česku konečně vzniknou první vodíkové stanice. K dispozici budou v Praze, Litvínově i Brně. Auto.cz [online]. Copyright CZECH NEWS CENTER, © 2001 - 2022 [cit. 2022-10-08]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/v-cesku-konecne-vzniknou-prvni-vodikove-stanice-k-dispozici-budou-v-praze-litvinove-i-brne-136132>
- [49] Český investor sází na vodík. Firmám dodává auta i mobilní čerpací stanice. Seznam Zprávy [online]. Copyright © Seznam Zprávy, © 2001 - 2022 [cit. 2022-10-09]. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/ekonomika-budnik-z-theinu-v-cesku-zacneme-vyrabet-vodikove-cerpaci-stanice-196880>

- [50] I dotované nabíjecí stanice prodělávají. Má je uživit hrstka elektromobilů. E15.cz [online]. Copyright CZECH NEWS CENTER, © 2001 - 2022 [cit. 2022-10-15]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/byznys/doprava-a-logistika/i-dotovane-nabijeci-stanice-prodelavaji-ma-je-uzivit-hrstka-elektromobilu-1385880>



## Seznam zkratek

ADAC	Všeobecný německý autoklub (Allgemeiner deutscher Automobilclub)
BEV	bateriový elektromobil (battery electric vehicle)
BSG	Belt Starter Generator
CNG	stlačený zemní plyn (compressed natural gas)
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý
CZK	česká koruna
ECV	elektrické nabíjecí vozidlo (electric charged vehicle)
EREV	elektromobil s range extenderem (extended range electric vehicle)
EU	Evropská unie
EUR	euro
EV	elektrické vozidlo (electric vehicle)
FCEV	vozidlo s palivovým článkem (fuel cell electric vehicle)
FCV	vozidlo s palivovým článkem (fuel cell vehicle)
FHEV	full hybridní vozidlo (full hybrid electric vehicle)
HEV	hybridní vozidlo (hybrid electric vehicle)
ICCT	Mezinárodní rada pro čistou dopravu (International Council on Clean Transportation)
LPG	zkapalněný ropný plyn (liquified petroleum gas)
MHEV	mild hybridní vozidlo (mild hybrid electric vehicle)
PHEV	plug-in hybridní vozidlo (plug-in hybrid electric vehicle)
RDE	Real Driving Emissions
ÚJV	Ústav jaderného výzkumu
USA	Spojené státy americké (United States of America)

WLTC      Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Cycle

## Seznam obrázků

- Obrázek A1: Schéma mild hybridu [23]
- Obrázek A2: Schémata variant full hybridu [23]
- Obrázek A3: Srovnání platformy pro elektrická (vlevo) a spalovací vozidla (vpravo) [39]
- Obrázek A4: Zástavba vodíkového pohonu Toyoty Mirai [46]

## Seznam grafů

- Graf A1: Reálné emise oxidů dusíku dle normy Euro – diesel [26]
- Graf A2: Reálné emise oxidů dusíku dle normy Euro – benzín [26]
- Graf A3: Tržní podíl full hybridů [26]
- Graf A4: Reálný a normovaný podíl vzdálenosti ujeté na elektřinu v záv. na dojezdu [36]
- Graf A5: Emise CO<sub>2</sub> plug-in hybridů v závislosti na teplotě [37]
- Graf A6: Tržní podíl plug-in hybridů [26]
- Graf A7: Hustota energie v různých druzích baterií [23]
- Graf A8: Degradace baterie v závislosti na nájezdu (Tesla, 85 kWh) [41]
- Graf A9: Celkové emise CO<sub>2</sub> středního elektromobilu v závislosti na energet. mixu [42]
- Graf A10: Celkové emise středního vozidla v závislosti na pohonu [42]
- Graf A11: Tržní podíl elektromobilů [26]
- Graf A12: Prodeje automobilů s palivovými články v EU [27]