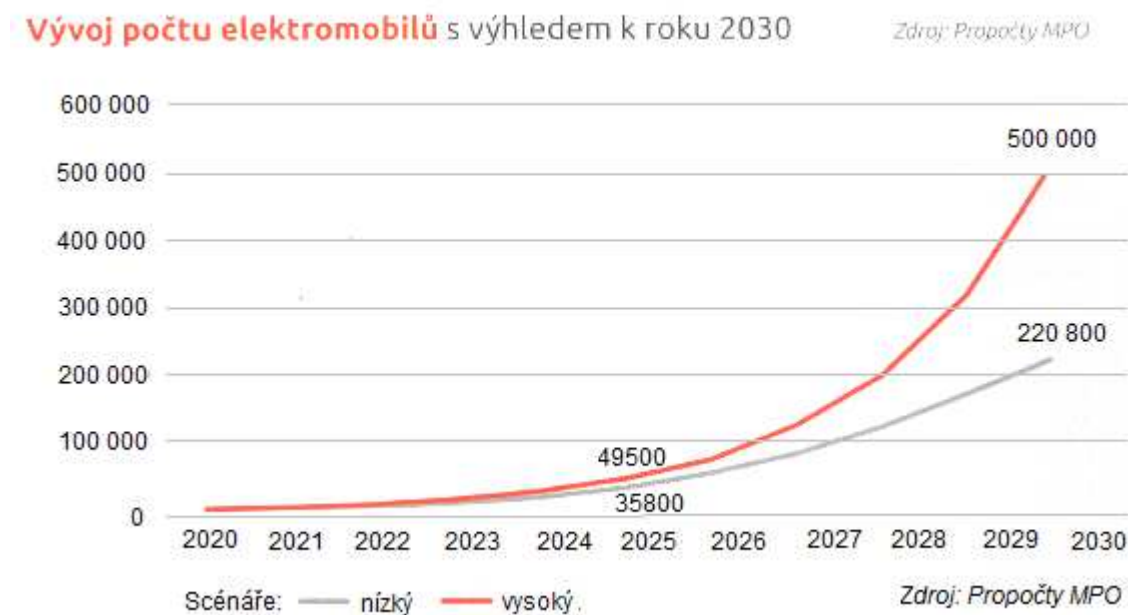


Kam kráčíš, elektromobilito?

Josef Morkus, Jan Macek

[Centrum vozidel udržitelné mobility, Fakulty strojní ČVUT v Praze](#)

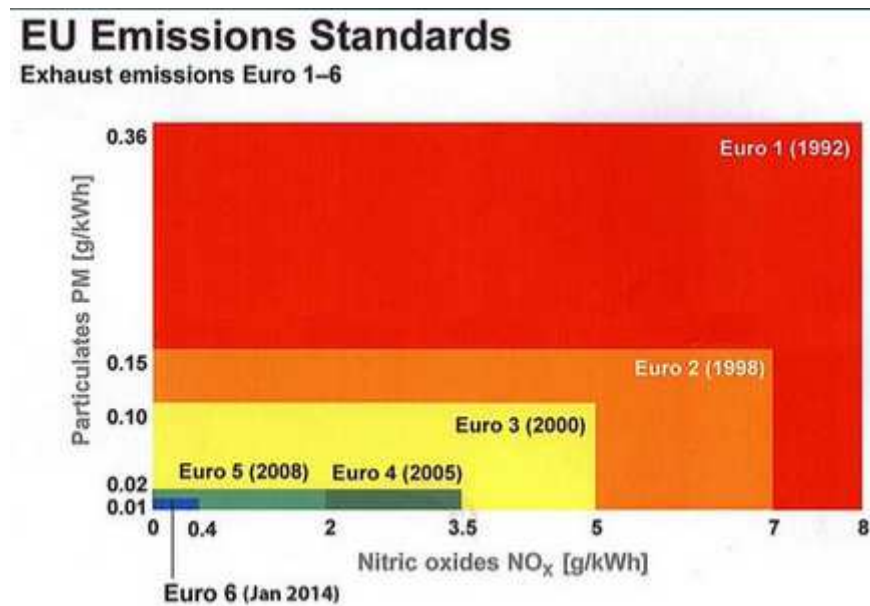
Současné a tím spíše i budoucí evropské emisní předpisy nutí výrobce automobilů vyrábět a prodávat vozidla s elektrickým pohonem. Tento požadavek vychází ze závěrů Pařížské konference o klimatu a nově přijaté Zelené dohody pro Evropu (European Green Deal) [1], podle které by Evropa měla v roce 2050 dosáhnout uhlíkové neutrality. Na tyto dokumenty navazuje v dubnu 2020 schválený Národní plán čisté mobility [5], který klade důraz na elektrický pohon vozidel. Podle tohoto plánu by mělo v roce 2030 jezdit na českých silnicích 220 800 až 500 000 elektromobilů (obr.1) [5]. Pro srovnání, k 31. 12. 2019 bylo v Centrálním registru vozidel evidováno pouhých 7637 elektrických vozidel (z toho zhruba ½ tvořila jednostopá vozidla)[58]. V současné době jediným dostupným akumulátorem elektrické energie pro pohon těchto vozidel jsou baterie.



Obr. 1: Předpokládaný vývoj počtu elektromobilů s výhledem k roku 2030

Cíl snižování emisí obecně je beze sporu správný a je hlavním motivem pro elektrifikaci pohonu vozidel. Zdraví škodlivé emise (CO, CH, NOx a částice) jsou regulovány stále zpřísnovanými předpisy EURO (nyní několikátá verze EURO 6). V rámci těchto předpisů došlo již k velmi radikálnímu omezení emisí (obr. 2), [6] a připravuje se ještě přísnější EURO7. Navíc jsou tato laboratorní měření povinně doplňována měřeními přímo v provozu, známým pod zkratkou RDE.

Předpisy EURO však nezahrnují limity oxidu uhličitého (CO₂), které jsou v Evropě dány usnesením Evropské komise vycházejícího z výše uvedených dokumentů a v současné době (v roce 2020 s omezením, od 2021 pro 100% produkce) platí limit 95 gCO₂/km. Tato hodnota je průměrem z emisí vozidel každého výrobce, váženým podle počtu prodaných vozidel během roku, a ještě je modifikována hmotností těchto vozidel tak, že pro lehká vozidla je přísnější a pro velká těžká vozidla mírnější než uvedených 95 gCO₂/km. Při nesplnění tohoto limitu budou výrobci platit velmi tvrdé pokuty, tč. 95 € za každý překročený gram CO₂ a vozidlo. Pro další roky budou tyto limity dále zpřísnovány, od roku 2030 na 59 gCO₂/km, případně i méně. Přitom elektromobil je podle těchto předpisů považován za zcela bezemisní a po přechodné období je do průměru emisí počítán vícenásobně (v roce 2021 za 2 prodaná vozidla).



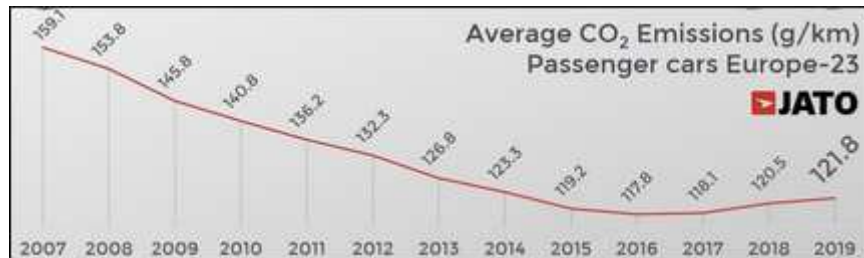
Obr. 2: Vývoj emisních předpisů EURO (příklad oxidy dusíku a částice pro vznětové motory)

Oxid uhličitý CO₂ je přirozenou součástí atmosféry (dnes kolem 0,04% objemově) a v běžných množstvích není zdraví škodlivý. Od začátku průmyslové revoluce však jeho podíl roste. CO₂ je skleníkový plyn a je mu připisováno, že růst jeho koncentrace v ovzduší je jednou z příčin globálního oteplování. Za hlavní zdroj CO₂ je považováno spalování fosilních paliv, zejména ve spalovacích motorech automobilů.

Směr daný v úvodu uvedenými dokumenty a usneseními Evropské komise je jasný – nízkouhlíková mobilita. Do ní již také všichni evropští výrobci vozidel investují miliardy eur. Vzniká tak dojem silně podporovaný některými médii a zelenými aktivisty, že budoucnost je výhradně elektrická a v dohledné době se jiná než elektrická vozidla již vyrábět nebudou.

Skutečnost je však odlišná. Preference zákazníků jdou jiným směrem, k těžším sportovně užitkovým vozidlům a rostoucím výkonům motorů, což ve svém důsledku vede k větší produkci emisí CO₂. Negativní roli sehrálo i neuvážené tažení proti dieselům, které mají nižší

emise CO₂ než benzinové motory. Emise CO₂ z provozu osobních automobilů dlouhodobě klesaly, ale v posledních 3 letech mírně rostou (obr.3) [2]. Dosavadní prodeje nízkoemisních vozidel jsou velmi malé a nestačí vyrovnat nárůst emisí v důsledku těchto vlivů. Podle údajů ACEA [53] představují elektromobily v současné době v Evropě pouze 4,4% nově registrovaných automobilů. v ČR to je jen 0,5 % (včetně plug-in hybridů) [7].



Obr.3 Vývoj emisí CO₂ osobních vozů v Evropě

Elektromobil má některé nesporné výhody. V první řadě je to lepší akcelerace ve srovnání s podobným automobilem se spalovacím motorem, která je dána vlastností elektromotoru poskytovat točivý moment již od nejnižších otáček. Dále je to jednodušší ovládání - odpadá spojka a celý řadicí mechanismus, vozidlo lze za běžných podmínek ovládat jen jedním pedálem a pedál brzd se využije jen pro zastavení nebo intenzivní brzdění. A nejdůležitější výhodou je, že při jízdě elektromobil neprodukuje žádné emise.

Elektrifikace vozového parku znamená, že do vozidla je přidána nová součást, elektrická akumulátorová baterie, dnes lithium-iontová, nejčastěji s kovovou katodou (obvykle kobalt-nikl-mangan, NMC). Alternativy k ní se sice jeví jako možné a slibné (např. baterie lithium-síra), ale přinejmenším v nejbližších 10 letech jsou nepoužitelné zejména pro nízkou životnost nebo jiné problémy. Je důležité porozumět souvislostem, jak důsledkům výroby elektřiny pro jízdu vozidla, tak i důsledkům výroby tohoto přidaného prvku, tj. baterií.

Bohužel aktuální vývoj na poli evropské legislativy nebere v úvahu celkovou uhlíkovou stopu elektromobilu od jeho výroby, výroby baterie, po zdroj elektrické energie pro jeho pohon a násilím tlačí výrobce do vývoje, výroby a prodeje bateriových vozidel. Důsledkem těchto požadavků je nutnost vyrábět a prodat stále rostoucí počet elektrických vozidel, především bateriových elektromobilů a případně plug-in hybridů, které se ještě podle platných měřicích metod dostanou pod limit 50 gCO₂/km, který je hranicí pro tzv. čistá vozidla. Je vhodné podotknout, že v ostatních částech světa mimo Evropu je také snaha emise snižovat, ale ne tak rychle, s ohledem na technický vývoj a bez tvrdých sankcí. Není preferována jediná cesta jako v Evropě, ale je dán větší prostor vzájemné konkurenci různých řešení. Například v Japonsku tzv. Next-generation vehicles (vozidla příští generace) zahrnují hybridy, plug-in hybridy, bateriové elektromobily, čisté diesely a CNG vozidla [31].

Jsou elektromobily skutečně bezemisní? Z hlediska lokálního, to jest při jízdě, ano. To je jejich zásadní výhoda, zejména v městském prostředí, kde svým provozem neznečišťují zdravotními škodlivinami vzduch v ulicích. Emise oxidu uhličitého v ulici jsou též nulové, což ze zdravotního hlediska nic neznamená. Ale z globálního pohledu vlivu na klima planety

emise, zejména CO₂ vznikají jak při výrobě elektromobilů a především při výrobě baterií, tak i při výrobě elektřiny pro jejich provoz. Pokud je výroba vzdálená od obydlí, zdraví škodlivé emise (oxidy dusíku, částice apod.) se ve vzduchu rozředí a nepůsobí tak bezprostředně jako emise produkované přímo v ulicích. Ale pokud jde o skleníkové plyny, zejména CO₂ a jejich vliv na klima a globální oteplování, je v podstatě jedno, kde vznikají, zda ve městě, ve vzdálené elektrárně nebo i v jiné zemi.

Běžný zákazník od elektromobilu celkem logicky očekává vlastnosti srovnatelné s automobilem, tj. dostatečný dojezd, rychlé nabíjení a to vše za rozumnou cenu. To ovšem vede ke stálému zvětšování baterií a zvyšování výkonu nabíječek. A právě v tom je základní potíž. Oba tyto trendy vedou jak k růstu ceny elektromobilů i ceny jejich provozu, tak i k růstu emisí vytvořených během výroby a provozu těchto vozidel a působí tedy opačně než je základní cíl, kvůli kterému jsou elektromobily zaváděny.

Dojezd

Dojezd je jedním z nejsledovanějších parametrů elektromobilů a každé jeho zvýšení je v médiích vítáno s velkým nadšením. Ale i když se dojezdy zvětšují tak, jak jsou postupně vylepšovány baterie, stále jsou nízké ve srovnání s klasickými automobily v obdobné cenové hladině. Navíc, dojezd klesá i v zimním období v závislosti na teplotě a potřebě topení ve vozidle. Spotřeba topení závisí na času jízdy, nikoliv na ujeté vzdálenosti a může dojezd výrazně snížit. Reálné dojezdy, jak ukazují nezávislá měření, např. časopisu *What car?* (tab. 1) jsou menší než ty oficiální, které se určují v laboratorních podmínkách podle přesně stanoveného postupu (dnes WLTP). I jiné testy udávají podobné výsledky.

Automobil	Udávaný dojezd	Skutečný dojezd	Rozdíl
Tesla Model S 75D	490 km	328,3 km	161,7 km
Hyundai Ioniq Electric	280 km	188,3 km	91,7 km
Renault Zoe R110	316 km	235,0 km	81,0 km
Kia e-Niro	485 km	407,2 km	77,8 km
Hyundai Kona Electric 64 kWh	482 km	416,8 km	65,2 km
Smart ForTwo EQ	160 km	95,0 km	65,0 km
Nissan Leaf	270 km	206,0 km	64,0 km
Smart ForFour EQ	155 km	91,7 km	63,3 km
Jaguar I-Pace	470km	407,2 km	62,8 km
Hyundai Kona Electric 39 kWh	312 km	254,3 km	57,7 km
Volkswagen e-Golf	231 km	188,3 km	42,7 km
BMW i3 94 Ah	235 km	194,7km	40,3 km

Tab. 1 Dojezdy elektromobilů podle měření časopisu *What car?* [23], [28] na vlastní zkušební dráze kombinující různé druhy provozu, za stejných podmínek pro všechna vozidla a bez vlivu okolního provozu

Ale i tyto hodnoty platí jen pro relativně nové baterie. Dojezd klesá se stářím baterie (počtem dobití). Záruky dnes poskytované na baterie (obvykle 8 let nebo 160 000 km) platí za předpokladu, že kapacita baterie po tu dobu neklesne pod 70% původní hodnoty. *Ale pokles kapacity na 70% znamená snížení dojezdu o 1/3, protože baterii nelze zcela vybit a vždy musí zůstat určité minimální procento nabití.*

Velmi výrazně dojezd závisí na stylu jízdy řidiče. Baterii nesevďčí dynamický styl jízdy (velké odebírané proudy), snižuje se tím její účinnost i životnost. Pomineme-li tento faktor, jedinou zásadní možností zvyšování dojezdu je zvyšování kapacity baterií. Konstrukce moderních elektromobilů (jejich platformy) se odlišuje od konstrukce automobilů se spalovacím motorem. Optimální se jeví umístění baterií v podlaze vozidla. Avšak zde se již naráží na limit. Chceme-li od elektromobilu dojezd v řádu několika stovek kilometrů, pak takové vozidlo (např. Tesla, Audi, Mercedes nebo Jaguar, obr. 4) má již celou podlahu vyplněnou bateriemi. Takto velké baterie jsou drahé, podílí se na ceně elektromobilu nejméně jednou třetinou a cena takovýchto vozidel překračuje milion korun (tab.8). Pro běžného spotřebitele jsou tato vozidla prakticky nedostupná. Současně tyto baterie jsou těžké, váží několik set kg (tab. 3) a představují mrtvou váhu, kterou elektromobil musí stále vozit sebou bez ohledu na to, jak jsou nabité.



Obr. 4 Platforma Jaguar I-Pace

Baterie

Trakční baterie elektrického vozidla se skládá z mnoha bateriových článků, chladicího a vyhřívacího systému, řídicí elektroniky, nosné struktury a pláště. Podstatná část emisí CO₂ vzniká již při její výrobě. Na toto téma byla zpracována řada studií, které však nejsou běžně známy a které se snaží postihnout emise CO₂ a dalších skleníkových plynů během různých fází výroby baterie od těžby surovin přes rafinaci materiálu, výrobu elektrod, kompletaci bateriových článků až po finální montáž baterie včetně jejího chladicího systému, řídicí a kontrolní elektroniky a obalu. Baterie je poměrně složité zařízení obsahující řadu vzácných prvků jako lithium, kobalt, prvky vzácných zemin (samarium, neodym atp.), nikl a dále měď, mangan, hliník, ocel, gumu, plasty a další komponenty.

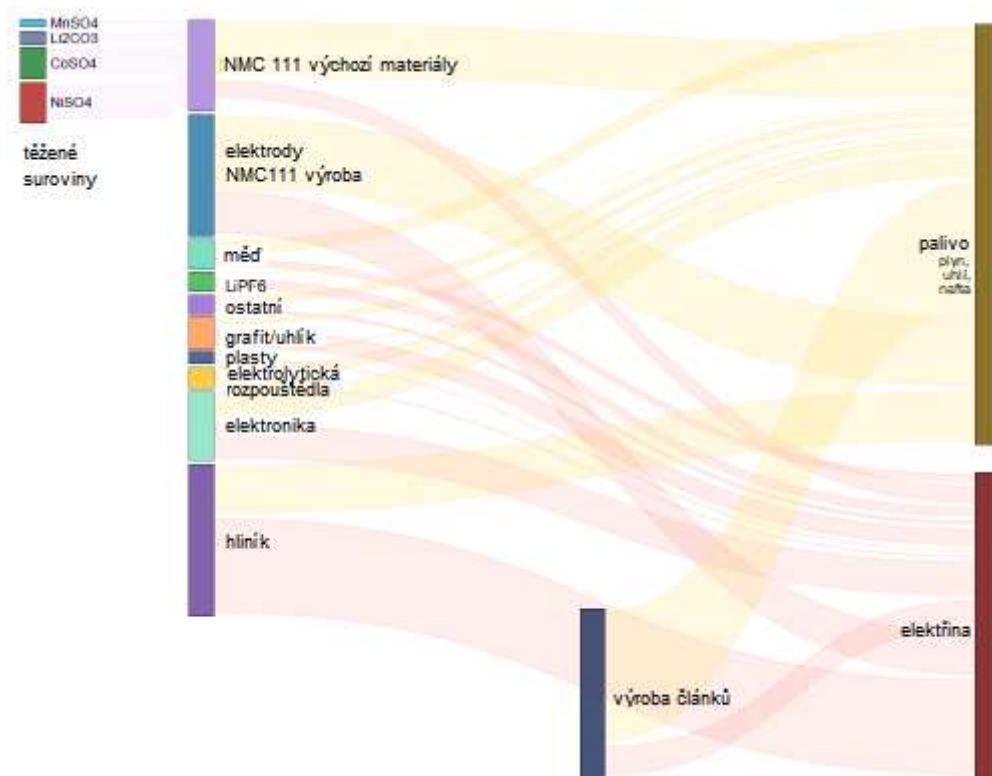


Obr. 5 Baterie elektromobilu.

Výsledky jednotlivých studií (Dai [16], Majeau-Bettez [17], Dunn [18],[19],[25], Kim [20], Ellingsen [26] a dalších) vykazují značný rozptyl hodnot v závislosti na tom, kterých fází výroby se týkají, jakou technologii výroby popisují a kde se výroba uskutečňuje.

Jednotčím prvkem, podle kterého lze posuzovat náročnost jednotlivých fází výroby je spotřebovaná energie. Emise CO₂ jsou pak závislé na energetickém mixu (tj. z jakých zdrojů energie pochází), který je u každé studie jiný. Ale i pokud jde o použitou energii k výrobě, je potřeba rozlišovat zda se jedná o elektrickou energii nebo o teplo, přičemž poměr elektřiny a tepla se se v různých studiích liší. Ellingsen a IVL [22] předpokládají, že většina spotřebované energie je elektřina, Majeau-Bettez udává 75% elektřiny, jiné studie méně až do cca 40% (Dai, obr.6), někdy se udává jen součet elektřiny a tepla. Spotřebovanou elektřinu lze přepočítat na množství vyprodukovaného CO₂ (kap. Emise). U tepelné energie je to obtížné, neboť nebývá udáno, z čeho tato energie pochází, a proto se tato část energie při výpočtu emisí často nesprávně zanedbává.

Kromě jednotlivých studií existují také přehledy, které se snaží různé studie mezi sebou porovnávat a hledat nejpravděpodobnější hodnoty. Mezi tyto přehledy patří studie IVL (IVL Swedish Environmental Research Institute) [22], dokument Global EV Outlook 2019 od IEA [4] a práce na ČVUT [54]. Zjištěné hodnoty spotřebované energie pro výrobu baterií jsou uváděny v poměrných hodnotách MJ/kWh, tj. kolik energie připadá na 1 kWh kapacity baterie. Pro konkrétní baterii je pak nutné tyto hodnoty vynásobit její kapacitou.



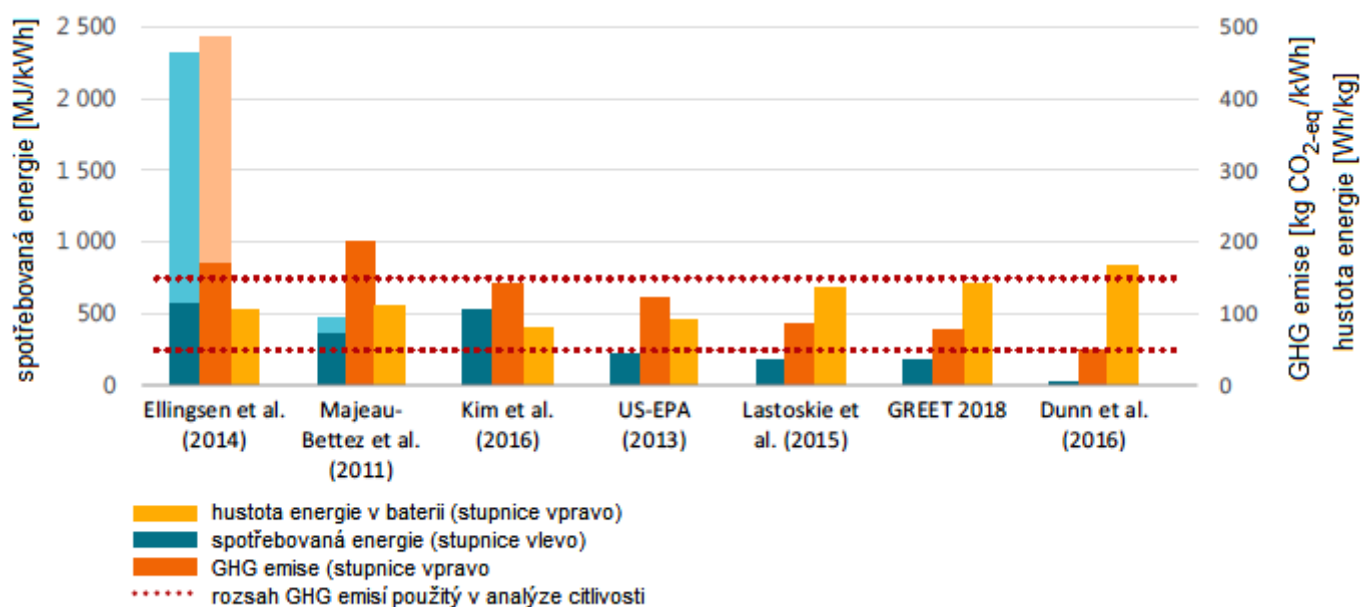
Obr. 6 Tok energie při výrobě bateriových článků [16]

Studie IVL [22] z roku 2017 analyzuje větší množství předchozích studií, za relevantní však považuje pouze několik z nich, které vycházejí z vlastních dat a jejich postup je transparentní. Studie nejsou zcela srovnatelné, některé se zabývají jen výrobou článků (Ellingsen, Majeau-Bettez), studie Dunn jen výrobou elektrod. Z hlediska spotřebované energie je důležitý přístup autorů jednotlivých studií. Tzv. přístup zdola nahoru (Bottom-up) používá data spotřeby energie z jednotlivých fází výroby hotového výrobku. Při metodě shora dolů (Top-down) jsou data více komplexní, neboť zahrnují i spotřeby všech pomocných výrobních procesů. Jak je zřejmé z tabulky 2, je rozdíl mezi oběma postupy podstatný. Autoři studie IVL docházejí k závěru, že spotřebovaná energie se pohybuje nejpravděpodobněji mezi 350 až 650 MJ na kWh kapacity baterie, přičemž s rostoucí velikostí baterie roste přibližně lineárně. Největší podíl má těžba a rafinace surovin a zejména výroba elektrod a elektrolytu, montáž celé baterie z článků má jen menší podíl.

Studie	Spotřeba energie pro výrobu [MJ/kWh]	Přístup
(Ellingsen, et al., 2014)	586	Top-down
(Notter, et al., 2010)	3.1	Bottom-up
(Zackrisson, et al., 2010)	451	Top-down
(Ma jeu-Bettez, et al., 2011)	371-473	Top-down
(Dunn, et al., 2012)	10.7	Bottom-up

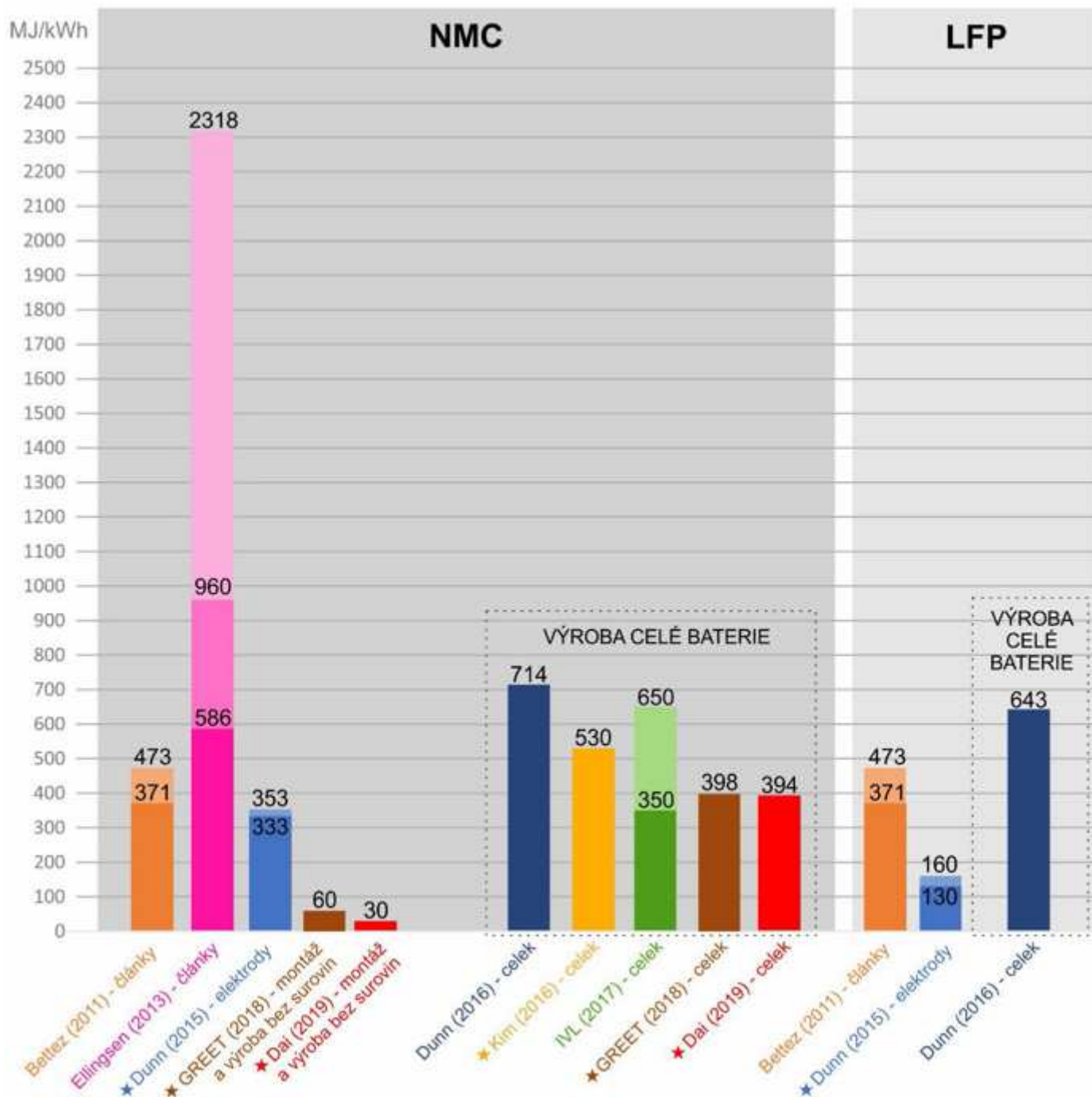
Tab.2 Spotřeba energie pro výrobu baterií [22]

Grafické porovnání různých studií se rovněž nalezne v materiálu IEA (International Energy Agency) Global EV Outlook 2019 [4]. Z grafu je vidět, že americké studie, které vycházejí převážně z modelu GREET [24] dávají nižší hodnoty spotřebované energie než evropské studie i než studie Kim vycházející z konkrétní baterie amerického vozu Ford Focus [20]. Model GREET je vyvinutý Národní laboratoří Argonne spadající pod Ministerstvo energetiky Spojených států amerických a uživatel si v něm může volit vlastní vstupní parametry na základě databáze vycházející z amerických poměrů. Avšak jak je ukázáno v [54], ani takto seriózní zdroj se nevyhnul chybám, u některých studií se hodnoty spotřeby energie týkají pouze výroby bateriových článků a hodnota u studie Dunn je nesprávná.



Obr. 7 Spotřebovaná energie a emise skleníkových plynů při výrobě NMC baterií a hustota energie v bateriích podle jednotlivých studií[4]. Světlejší odstíny barev ukazují rozptýl hodnot

Bakalářská práce na ČVUT (2020) [54] detailně porovnává 8 studií z pohledu vstupních dat, okolností získání výsledků, použitého energetického mixu, vypočtených výsledků a porovnání s jinými studiemi. Některé studie označené na obr. 8 hvězdičkou uvádějí spotřebu primární energie. Spotřeba elektrické energie je z ní vypočtena s předpokládanou účinností výroby 35%. Výsledky spotřebované elektrické energie pro nejpoužívanější technologii složení elektrod NMC jsou shrnuty v grafu (obr. 8). Údaje GREET a Dai vycházejí ze stejného základu (Nár. lab. Argonne) a představují v podstatě jeden výsledek.



Obr. 8: Poměrná spotřeba elektrické energie na výrobu Li-ion NMC baterie [54]. Světlejší odstíny barev ukazují rozptyl hodnot

Výsledky jednotlivých studií jsou částečně ovlivněny uvažovanou hustotou energie v baterii. S větší hustotou energie obecně klesá energetická náročnost výroby. Hustota energie se u současných baterií pohybuje v rozmezí 0,10 až 0,16 kWh/kg (tab.3), i když může být ovlivněna tím, co se do hmotnosti baterie započítá (zejména chladič systém). Trendem je zvyšování hustoty energie, např. původní baterie BMW i3 měla kapacitu 22 kWh a hustotu

energie 0,115 kWh/kg, pozdější verze měla kapacitu 33 kWh a hustotu 0,130 kWh/kg a nejnovější má kapacitu 42,2 kWh a hustotu 0,152 kWh/kg [27]. S rostoucí kapacitou, využívající vyšší hustotu, ovšem roste i váha baterie, v tomto případě z 230 kg na 278 kg.

	Název vozu:	rok:	váha celková:	váha baterie:	kapacita baterie:	měrná hustota:	technologie:	výrobce:
1.	Renault Twingo ZE	2020	1112	165	22	0,133	NCM712	LG Chem
2.	Smart EQ fortwo	2019	1085	178	17,6	0,099		Deutsche Accumotive
3.	Mini Cooper SE	2020	1365	200	32,6	0,163		CATL
4.	VW e-up	2020	1229	248	36,8	0,148	NCM622	LG Chem
5.	BMW i3	2019	1290	278	42,2	0,152	NCM622	Samsung SDI
6.	Nissan Leaf S	2018	1557	303	40	0,132	NCM523	Envision AESC
7.	Kia e-Niro	2019	1667	315	39,2	0,124		SK Innovation
8.	Renault ZOE ZE 50	2020	1577	326	54,66	0,168	NCM712	LG Chem
9.	VW e-Golf	2017	1615	349	35,8	0,103	NCM111	Samsung SDI
10.	Peugeot e-208	2019	1500	356	50	0,140	NCM523	CATL
11.	Hyundai IONIQ Electric	2020	1527	363	40,4	0,111	NCM622	LG Chem
12.	Nissan Leaf S Plus	2019	1715	410	62	0,151	NCM524	Envision AESC
13.	Kia e-Niro 4	2020	1812	457	67,5	0,148	NCM622	SK Innovation
14.	Kia e-Soul	2020	1682	457	67,5	0,148	NCM622	SK Innovation
15.	Tesla Model 3 (long range)	2017	1753	478	80,5	0,168	NCA	Panasonic
16.	Porsche Taycan 4S	2020	2140	554	79,2	0,143		LG Chem
17.	Audi e-tron 50 quattro	2020	2565	580	71	0,122		LG Chem
18.	Jaguar I-PACE	2019	2140	603	90	0,149	NCM622	LG Chem
19.	Porsche Taycan Turbo S	2020	2295	630	93,4	0,148	NCM622	LG Chem
20.	Tesla Model S (long range)	2016	2241	630	102,4	0,163	NCA	Panasonic
21.	Tesla Model	2016	2554	630	102,4	0,163	NCA	Panasonic

	X (long range)							
22.	Mercedes-Benz EQC 400 4Matic	2020	2495	652	85	0,130	NCM622	LG/SK
23.	Audi e-tron 55 quattro	2019	2490	700	95	0,136	NCM622	LG Chem
			[kg]	[kg]	[kWh]	[kWh/kg]		

Tab. 3 Parametry baterií [54]

S určitou mírou optimismu a s ohledem na pokračující vývoj technologií a zvyšování sériovosti výroby lze předpokládat, že spotřeba elektrické energie pro výrobu bateriových článků a kompletaci baterií se bude v následujících letech pohybovat v rozmezí 300 až 500 MJ/kWh, tj. přibližně 85 až 140 kWh/kWh kapacity baterie. Neznámou při tom zůstává spotřeba tepelné energie a její zdroj, což může celkovou spotřebu energie významně zvyšovat.

Výrazným současným trendem u elektromobilů je zvyšování kapacity baterií ve snaze dosáhnout vyššího dojezdu. Z pohledu energie pro výrobu baterie a z toho vyplývajících emisí se bateriový elektromobil jeví velmi nevýhodný ve srovnání s jinými druhy elektrifikovaných vozidel (hybridy). Pro srovnání (tab. 4):

Druh pohonu	Obvyklá kapacita baterie	Energie pro výrobu baterie
mild hybrid	0,5 kWh	150 – 250 MJ ~ 40 – 70 kWh
full hybrid	1,5 kWh	450 – 750 MJ ~ 125 – 210 kWh
plug-in hybrid	10 – 15 kWh	3 000 – 7 500 MJ ~ 830 – 2 080 kWh
bateriový elektromobil	30 – 100 kWh	9 000 – 50 000 MJ ~ 2 500 – 13 900 kWh

Tab. 4 Energie pro výrobu baterie

Dobíjení

Přirozenou snahou každého uživatele je dobít baterie co nejrychleji. Ale čas dobíjení srovnatelný s časem tankování benzínu či nafty nelze dosáhnout. Málokdo si totiž uvědomuje, že hadicí, kterou tankujeme palivo do nádrže, teče výkon v megawattech.

Energie obsažená v 1 l benzínu je přibližně (závisí na složení, zejména na obsahu biosložky) 32 MJ/l [38]. V naftě je energie více, neboť má vyšší hustotu a přídavek metylesteru rostlinného oleje nesnižuje výhřevnost tak jako etanol v benzínu.
Natankujeme-li 50 l benzínu za 5 min (= 300 sekund), je výkon $50 \times 32/300 = 5,3$ MW

Tab.5 Tok energie při tankování benzínu

Těžko si lze představit dobíjecí kabel, kterým by tekla elektrická energie v megawattech. Navíc,

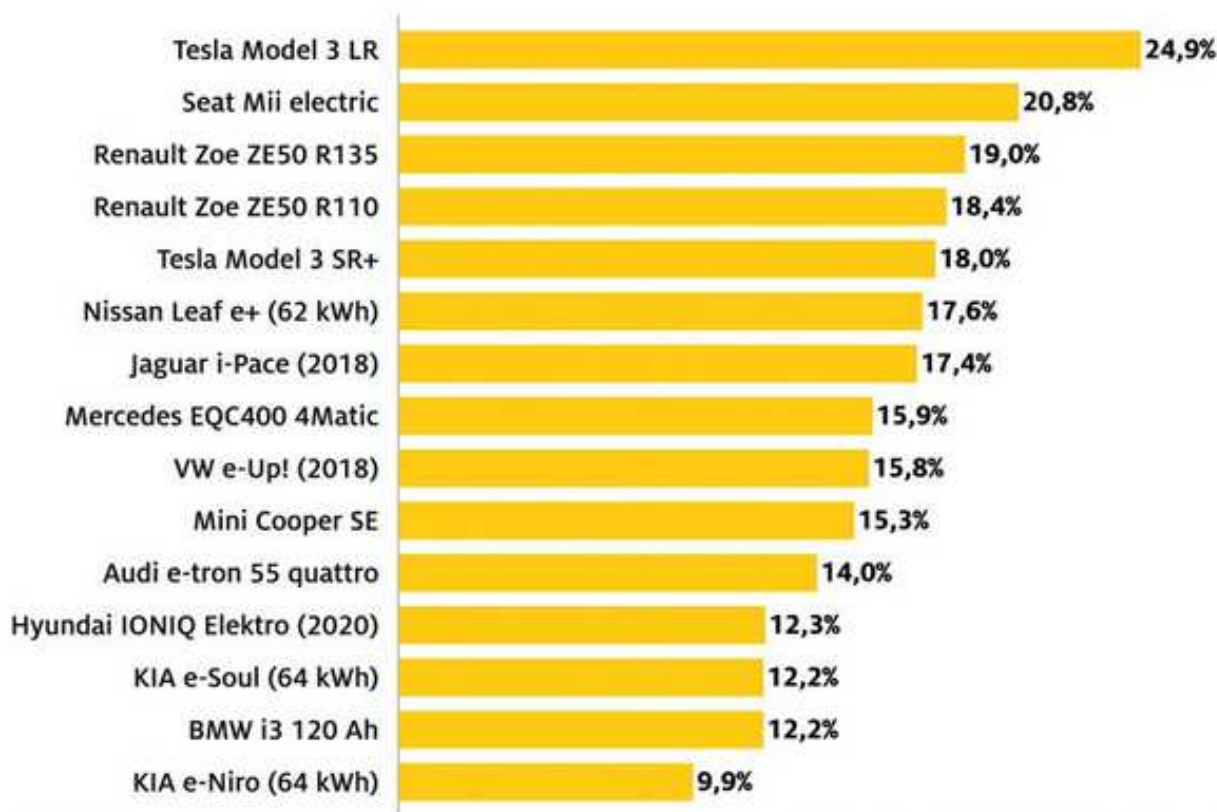
k dosažení takového výkonu by byl při daném napětí baterie potřeba proud v řádu tisíců ampér. A jak známo, ztráty rostou s druhou mocninou proudu:

$$P_{\text{ztráty}} = R \cdot I^2$$

Klíčovou otázkou je chlazení baterií, resp. jejich udržování na optimální teplotě. Výkon, který je schopna baterie ukládat při nabíjení nebo vydávat při jízdě (a tedy výkon který se dostane na kola elektromobilu) výrazně závisí na její teplotě. Optimální teplota je v poměrně úzkém pásmu, cca 20 až 40°C, při vyšší a zejména při nižší teplotě výkon baterie výrazně klesá [55]. Navíc se při teplotách nad 50°C baterie rychleji opotřebovává. U levnějších elektromobilů, kde není použito intenzivní chlazení baterie (např. baterie se chladí pouze vzduchem) bývá výkon nabíjení výrazněji omezen. A u dobíjení střídavým proudem, tj. ze zásuvky nebo wallboxu je výkon omezen nabíječkou ve vozidle na několik kW a nelze jej výrazně zvýšit právě kvůli tomu, aby se baterie nepřehřála ani po dlouhé době nabíjení.

ADAC zkoumal, jaký je rozdíl mezi spotřebou různých elektromobilů udávanou palubním počítačem vozidla, tj. spotřebou při jízdě a skutečnou spotřebou včetně ztrát při nabíjení [41], [42], t.j. na vstupu do nabíječky (obr. 9). Vozidla byla podrobena standardnímu Ecotestu ADAC a poté dobíjena na 22 kW wallboxu, každé vozidlo bylo tedy dobíjeno nízkým výkonem jeho vestavěné nabíječky. Současně byla měřena skutečná spotřeba v nabíjecí stanici, tj. včetně ztrát nabíjením. Ke ztrátám při nabíjení dochází jak v předřazené elektrické instalaci, nabíječce a v nabíjecím kabelu, tak i v palubní instalaci vozidla i v baterii pohonu a tyto ztráty se mění na teplo. Rozdíl mezi skutečnou spotřebou a spotřebou udávanou palubním počítačem činí 10 až 25% (obr.9).

Řidič musí zaplatit nejen energii, která se uloží do baterie, ale i ztrátové teplo, které se bez užitku vyfouká do okolí. Je to podobné, jako kdybychom tankovali benzin děravou hadicí a část benzínu místo do nádrže vytekla na zem.

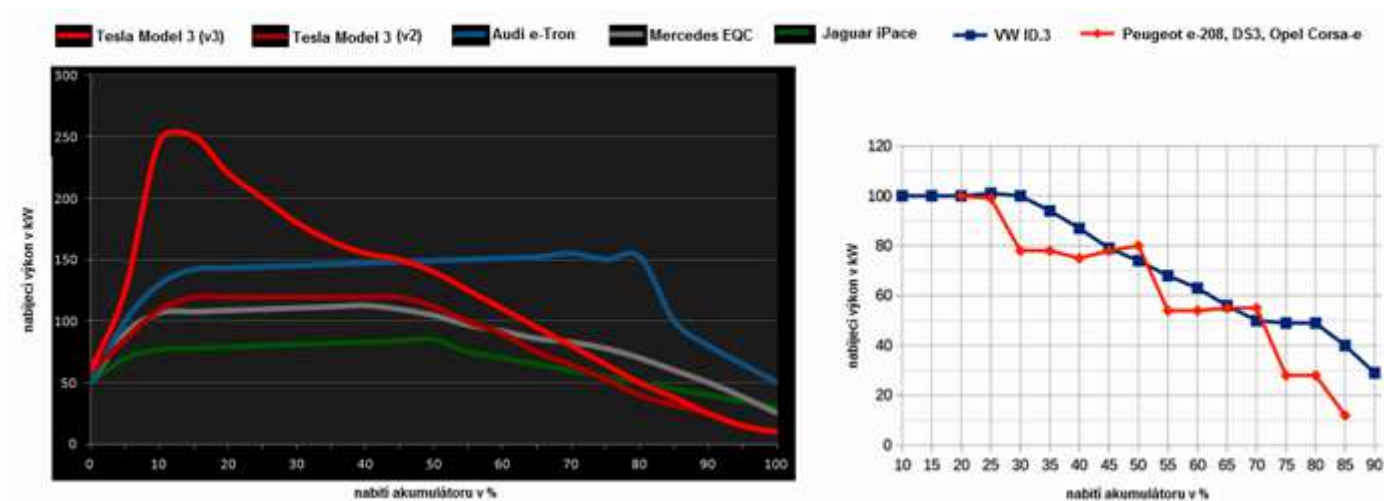


Quelle: ADAC e.V.

ADAC 10000 © ADAC e.V. 07.2020

Obr. 9 Ztráty při nabíjení

Ztráty na obr.9 platí při pomalém dobíjení nízkým výkonem. Pokud ovšem nabíjíme na rychlonabíječce, budou ztráty podstatně větší a to jak ve vlastní nabíječce (což se ostatně odráží na cenách u nabíječek, zahrnujících i odpisy nákladného elektrického vybavení), tak na cestě od elektroměru nabíječky do baterie (což už zaplatí řidič). Současné běžné rychlonabíječky dobíjejí stejnosměrným proudem a mají výkon 50 kW, proti vestavěné nabíječce pro nabíjení střídavým proudem 5 až 10krát více. Nejvýkonnější nabíječky (Tesla) mají výkon 350 kW. S rostoucím výkonem úměrně roste i proud a podle výše uvedeného vztahu by ztráty musely být mnohonásobně větší. Částečnou pomocí může být zvýšení napětí (např. Porsche Taycan má 800 V), čímž klesne proud zhruba na polovinu, ale zase vzrostou nároky na izolaci vodičů, výrazně vzroste i cena polovodičových prvků v řídicích obvodech a na váze ani ceně se neušetří. Situace se ztrátami ve skutečnosti není tak dramatická, protože maximální výkon nabíječky lze využít jen pro omezenou dobu a tak, jak se baterie vlivem ztrát ohřívá a se stavem nabití roste její vnitřní odpor, výkon nabíječky musí být během dobíjení snižován (obr. 10). To ovšem prodlužuje nabíjení. Teplota baterie nesmí překročit určitou hodnotu, např. 50 až 80°C, jinak hrozí její poškození a v každém případě expozice vyšší teplotě snižuje životnost baterie, tedy působí pokles kapacity při stejném počtu nabití. Míra tohoto snižování výkonu závisí na konstrukci baterie a účinnosti jejího chlazení, např. napojením baterie na okruh klimatizace vozidla (ale i pohon klimatizace spotřebovává určitou energii a zvyšuje ztráty). V každém případě jsou ztráty při rychlém dobíjení výrazně větší než při pomalém dobíjení.



Obr.10 Nabíjecí křivky [39], [40]

Rychlost dobíjení tedy s rostoucím stavem nabití baterie klesá, a proto nelze čas dobíjení počítat z poměru kapacity baterie a výkonu rychlonabíječky (resp. dovoleného výkonu baterie), jak je často mylně uváděno v populárních článcích. Z téhož důvodu rychlonabíječky končí nabíjení zpravidla na 80% stavu nabití baterie, neboť pak je již použitelný výkon velmi malý. Výrobci se často uchylují ke triku, že udávají čas dobití na 100 km nebo na 1 hodinu jízdy, samozřejmě počítaný z počátečního výkonu. Ale již zamlčují, že na další stovky km bude již nabíjecí výkon menší a tedy čas dobíjení delší.

Elektřina pro jízdu

Průměrná spotřeba elektromobilů (z baterie) se dnes pohybuje v rozmezí 15 až 25 kWh/100 km [23]. Konkrétní hodnota závisí na řadě faktorů, na velikosti elektromobilu, charakteru jeho provozu, teplotě okolí a v neposlední řadě na zkušenosti a stylu jízdy řidiče. Při velmi úsporné jízdě lze u malých elektromobilů dosáhnout i nižších hodnot kolem 12 kWh/100 km. Naopak u velkých elektromobilů s vysokým výkonem a při dynamickém stylu jízdy může spotřeba překročit 30 kWh/100 km. (Pro srovnání, 10 kWh odpovídá téměř přesně energii v 1 litru nafty, ovšem elektromobil zpracovává elektrickou energii z baterie s účinností asi dvakrát až dvaapůlkrát vyšší než spalovací motor – podle druhu provozu, možností rekuperace a výkonu při nabíjení, viz [RÁMEČEK](#)).

Na rozdíl od pohonu spalovacím motorem lze energii při brzdění ukládat zpět do baterie. Je však třeba vzít v úvahu následující okolnosti. Jednak dobíjení při brzdění vylučuje nejlepší způsob přímého využití kinetické nebo potenciální energie vozidla, to je jízdu výběhem. Ta je možná u jakéhokoliv vozidla a je zatížena jen ztrátami z jízdních odporů (jednou při zrychlování nebo jízdě do kopce, podruhé při výběhu do místa zastavení nebo jízdě s kopce. Při dobíjení se energie na vstupu do generátoru zmenší uvedenými jízdními odpory, ale navíc také ztrátami v nabíjecím řetězci včetně baterie a při opětovném použití obdobnými ztrátami vybíjením. Přitom se často celý výkon, který při brzdění bývá větší než výkon hnací, ani využít nedá (viz nahoře výkonová omezení při nabíjení) a musí se dobrzdňovat třecí brzdou. To účinnost rekuperace mechanické energie velmi snižuje, proti vozidlu se spalovacím

motorem lze takto využít u osobního elektromobilu průměrně jen 5-10% energie navíc. Větší hodnota je ve městě, kde se často brzdí, menší při provozu na otevřené silnici.

V zimním období je potřeba ve voze topit. U automobilu se k tomu využívá odpadní teplo spalovacího motoru. U elektromobilu je nutno topit z baterie. Podle [3] činí průměrný nárůst spotřeby energie na topení během roku cca 11%. Částečného snížení lze dosáhnout použitím dražšího tepelného čerpadla. (Pro ilustraci: U městského elektrobusu je podle údajů pražského DP nárůst spotřeby elektrické energie v zimních měsících až 100 %).

Tuto energii je potřeba někde vyrobit, dopravit k nabíječce a nabít do baterie vozidla. Množství vyrobené energie musí být větší o vlastní technologickou spotřebu elektráren, ztráty v přenosové síti a ztráty při nabíjení. Podle Energetického regulačního úřadu [29] odpovídá elektrina dodaná do sítě 93% elektriny vyrobené a účinnost přenosu sítí je přibližně 95%. Pokud budeme dobíjet malým výkonem, budou ztráty při nabíjení v rozsahu 10 – 25 % (obr. 9). Pokud však budeme dobíjet na rychlodobíjecí stanici, budou ztráty při dobíjení výrazně vyšší. Při posuzování využití energie z baterie se nesmí zapomenout na zhruba stejné ztráty při vybíjení, opět v závislosti na výkonu, zatěžujícím baterii.

Elektrinu spotřebovanou pro pohon vozidla, navýšenou o spotřebu na topení, včetně elektriny, která se ve formě ztrát neúčelně promění na teplo při přenosu k nabíječce i při nabíjení baterie a elektriny pro vlastní spotřebu elektráren je nutné vyrobit. Při její výrobě vznikají emise v závislosti na emisním faktoru země, kde se vyrábí (obr.11).

S uvažováním výše uvedených vlivů a při pomalém dobíjení bude tedy potřeba pro každý elektromobil se spotřebou 15 kWh a ztrátami při dobíjení 10% vyrobit elektrickou energii 20,7 kWh/100 km jízdy, pro elektromobil se spotřebou 25 kWh/100 km a ztrátami při dobíjení 25% bude potřeba vyrobit 39,3 kWh/100 km jízdy. S rychlým nabíjením množství potřebné elektriny ještě výrazně vzroste.

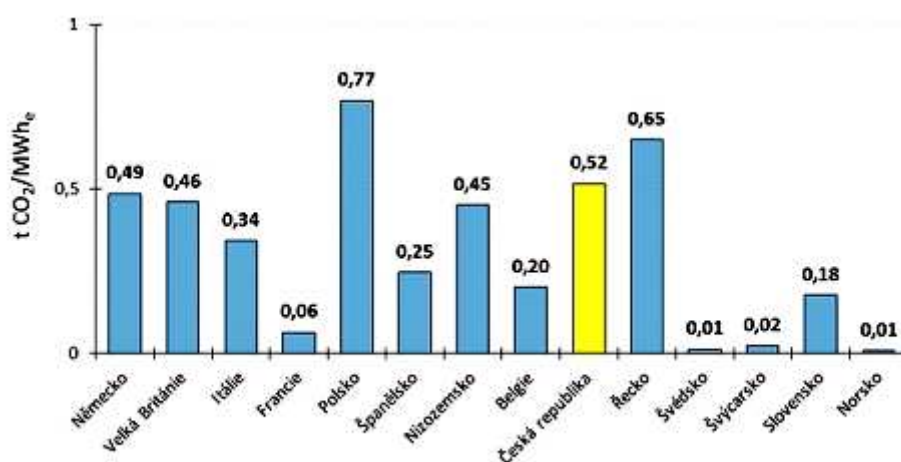
Recyklace

Vysloužilá Li-ion baterie je v podstatě nebezpečný odpad. Podle směrnice EU by se měla recyklovat. V současnosti existují dvě metody recyklace [4]: Metoda pyrometalurgická, využívající vysokých teplot, při které se baterie taví a následně se separují jednotlivé kovy. Takto se získává kobalt a nikl, případně měď, vše ostatní včetně lithia končí ve strusce nebo na skládce. Tato metoda je vysoce energeticky náročná a drahá. Druhá tzv. hydrometalurgická metoda, zatím spíše v prototypovém stádiu využívá rozpouštění kovů kyselinou a jejich následné srážení z roztoku. Tento postup vyžaduje menší množství energie, má však problémy s nízkou efektivitou, vysokou spotřebou chemikálií a následnými odpady. Demontáž baterií a následné drcení před dalším zpracováním musí probíhat pod ochrannou atmosférou kvůli riziku požáru [50]. Některé druhy baterií, zvláště s cylindrickými články (Tesla) se recyklují obtížněji. Recyklace není ekonomicky efektivní, za odběr baterií k recyklaci se platí i poměrně vysoké částky. V ČR není dosud žádná firma, která by recyklaci lithiových baterií prováděla, baterie se k recyklaci vyváží do zahraničí. Protože dosud je objem recyklací baterií elektromobilů malý a nejsou k dispozici příslušná data, nelze vliv recyklace baterií na klima objektivně vyhodnotit, může být pozitivní i negativní. V současné době tento odpad řeší mnohé vyvinuté státy exportem vysloužilých baterií elektrických nebo hybridních vozidel do méně vyvinutých oblastí (Střední Asie, Afrika).

Emise

Emise vznikají již při výrobě elektromobilu. Podle švédské studie IVL [22] vzniká při výrobě automobilu 5 až 10 t CO₂ v závislosti na jeho velikosti a vybavení. Z toho 20% tvoří emise při výrobě spalovacího motoru. Odhlédneme-li od emisí při výrobě elektromotoru a dalších částí elektrického pohonu, pak při výrobě elektromobilu (bez baterie) vzniká 4 až 8 t CO₂.

Druhým zdrojem emisí je výroba elektřiny. IEA udává pro jednotlivé země tzv. emisní faktor, který závisí na energetickém mixu, tj. z čeho se v dané zemi elektřina vyrábí. Emisní faktor udává, kolik kg CO₂ vznikne na 1 kWh vyrobené elektrické energie (resp. kolik tun CO₂ na 1 MWh). Přirozeně hodnota emisního faktoru je různá pro různé země. Velmi nízká je např. pro Norsko, kde většina elektřiny pochází z vodních zdrojů, rovněž poměrně nízká je ve Francii, kde zhruba ¾ energie vytvářejí jaderné elektrárny. Naopak vysoká je např. v Polsku, kde velká část elektrické energie pochází z uhelných elektráren (obr. 11).



Obr. 11. Emisní faktory pro různé evropské země v roce 2015 [30]

V emisním faktoru není započítán vliv těžby a dopravy surovin na výrobu elektřiny a také má na velikost emisního faktoru má vliv export a import elektřiny. V ČR, kde je část vyrobené elektřiny exportována a naopak část importována zejména z Polska, měl by být s uvažováním exportu a importu emisní faktor navýšen o 7% [35]. V dalším textu toto navýšení není uvažováno.

Množství emisí, vyprodukovaných při výrobě elektřiny pro pohon elektromobilu lze pak vypočítat z elektrické energie, kterou je potřeba vyrobit pro jízdu (viz výše), násobené emisním faktorem země, kde vozidlo jezdí a počtem ujetých kilometrů. Z dostupných údajů pro ČR platil v roce 2015 emisní faktor

$$f = 0,52 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$$

jenž je uváděn v [30] s odvoláním na statistická data Mezinárodní energetické agentury. Vzhledem k tomu, že složení energetického mixu ČR se v posledních letech příliš nemění (tab. 6, [32]), lze předpokládat, že v současné době bude platit podobná hodnota.

Často se uvádí, že pro pohon elektromobilů bude používána tzv. zelená elektřina z obnovitelných zdrojů. Jak je zřejmé z tab. 6, podíl obnovitelných zdrojů v ČR dlouhodobě klesá a i kdyby došlo k jejich (nereálnému) násobnému zvýšení, nestačí to na pokrytí spotřeby většího množství elektromobilů [3]. Do roku 2030, kdy by již měl být významný podíl elektromobilů (obr. 1), nelze očekávat podstatný nárůst podílu ani u jaderných zdrojů s ohledem na dobu jejich výstavby. Paradoxně v Německu navzdory rostoucímu podílu obnovitelných zdrojů lze pozorovat růst emisního faktoru (v roce 2019 byl podle ADAC [21] $f_{\text{Německo}} = 0,58 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$), pravděpodobně vlivem odklonu od jaderné energetiky a budování záložních zdrojů na fosilní paliva (plyn) v důsledku nestálého výkonu větrných a solárních elektráren.

Zdroje energie	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Obnovitelné zdroje - Celkem	5,68%	10,95%	11,77%	10,11%	7,60%	6,17%	3,90%
- Sluneční	1,96%	2,63%	2,88%	2,77%	2,14%	2,07%	1,66%
- Větrné	0,47%	0,57%	0,71%	0,63%	0,45%	0,22%	0,00%
- Vodní	1,93%	2,56%	2,67%	1,15%	1,43%	0,77%	0,44%
- Geotermální	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
- Biomasa	1,33%	2,19%	2,34%	5,57%	3,58%	3,11%	1,81%
- Ostatní	0,00%	2,99%	3,17%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Fosilní zdroje - Celkem	57,65%	52,77%	55,10%	59,53%	57,40%	56,95%	57,01%
- Hnědé uhlí	40,71%	41,27%	42,15%	43,91%	43,77%	44,63%	46,18%
- Černé uhlí	6,11%	5,78%	6,31%	6,97%	5,38%	4,18%	2,84%
- Zemní plyn	8,30%	5,52%	6,41%	8,40%	5,45%	5,80%	7,74%
- Ropa a ropné produkty	0,01%	0,06%	0,05%	0,05%	0,06%	0,04%	0,15%
- Druhotné zdroje a ostatní	2,52%	0,14%	0,18%	0,20%	2,73%	2,30%	0,10%
Jaderné zdroje - Celkem	36,67%	36,28%	33,13%	30,36%	35,01%	36,88%	39,09%

Tab. 6 Národní energetický mix ČR v posledních letech [32]

Dalším zdrojem emisí CO₂ je elektřina spotřebovaná při výrobě baterie (a obecně spotřebovaná energie, tj. včetně tepla). Jedná se sice o jednorázovou položku, ale nikoliv zanedbatelnou a zpravidla opomíjenou při porovnávání emisí automobilů a elektromobilů. Výroba bateriových článků probíhá převážně v Asii (Číně, Jižní Korei, Japonsku), finální část

a montáž pak u asijských výrobců, v Evropě i v USA. Podstatná část emisí vzniká již při výrobě bateriových článků, montáž celých baterií již představuje menší podíl (např. [26]). Množství emisí z výroby baterií lze vypočítat z množství elektřiny spotřebované při výrobě baterie (tab. 4) násobené emisním faktorem země, kde se baterie vyrábí, tedy zejména Číny. Podíl uhelných elektráren na výrobě elektřiny v Číně je přibližně ¾ a stále roste [33], emisní faktor Číny tedy bude podobný Polsku.

Argument, že se baterie nevyrábějí v Evropě a tudíž se nás emise z výroby baterií netýkají je pokrytecký. Pokud jde o CO₂, je z pohledu globálního oteplování lhostejné, kde emise vznikají. Kromě toho při výrobě baterií vznikají i další, zdraví škodlivé emise. Navíc se výroba baterií i bateriových článků přesouvá i do Evropy. Čínská firma CATL staví továrnu na výrobu bateriových článků ve východoněmeckém Durynsku, jihokorejský LG Chem u polské Vratislavi [36]. Tesla zahájila výstavbu gigafactory u Berlína, plány na výrobu baterií v Sasku mají i německé automobilky. Dokonce ČEZ uvažuje o výstavbě továrny na baterie v severních Čechách [37].

Benzin a nafta

U automobilů se spalovacím motorem vznikají emise především při spalování paliva během jízdy. Velikost emisí CO₂ je přímo úměrná spotřebě a lze ji určit ze vztahů [např. 44]:

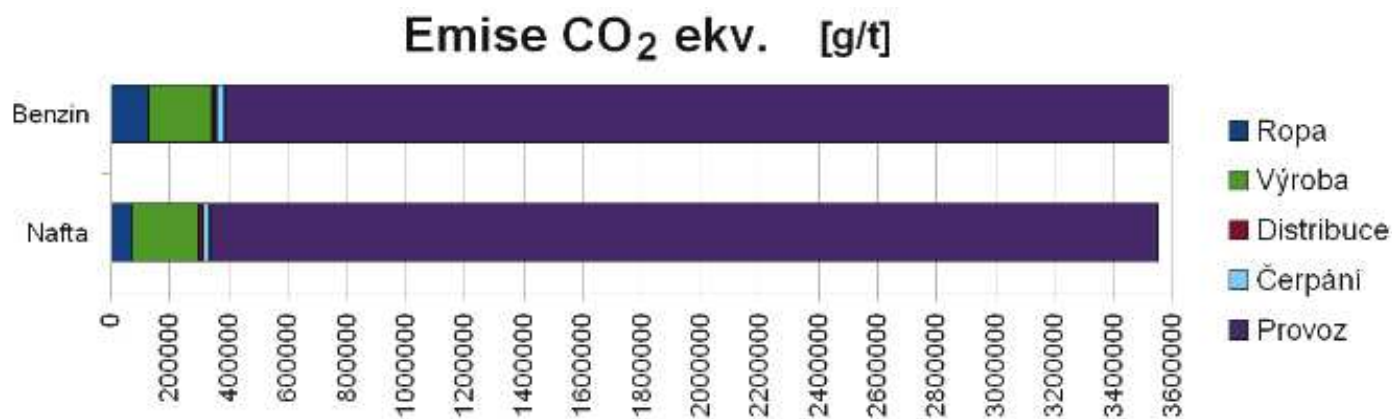
$$\text{emise}_{\text{benzin}} = 23,38 \cdot \text{spotřeba} \quad [\text{g CO}_2/\text{km}, \text{l}/100 \text{ km}]$$

$$\text{emise}_{\text{nafta}} = 26,83 \cdot \text{spotřeba} \quad [\text{g CO}_2/\text{km}, \text{l}/100 \text{ km}]$$

Ale i při těžbě a zpracování ropy a výrobě paliva vznikají emise. Vzhledem k vysoké energetické hustotě benzínu a nafty jsou relativně malé. Výsledky analýzy životního cyklu (Well-to-Wheel) fosilních paliv pro Centrum dopravního výzkumu jsou uvedeny v tab. 7 a na obrázku 12 [45]:

	Těžba ropy	Doprava ropy	Výroba paliva	Distribuce paliva	Čerpání paliva	Užití paliva
	%					
Benzin	1,3	2,3	6,3	0,3	0,8	89,0
Nafta	0,7	1,3	6,5	0,3	0,8	90,4

Tab. 7 Podíl emisí skleníkových plynů v jednotlivých fázích životního cyklu fosilních paliv



Obr. 12 Výsledky Well-to-Wheel analýzy fosilních paliv

Znamená to, že emise CO₂ vzniklé při jízdě vozidla s benzinovým motorem je potřeba navýšit o $11/89 = 12,36\%$, resp. u vozidla s naftovým motorem o $9,6/90,4 = 10,62\%$.

Modelové příklady

Tyto příklady vycházejí z přístupu *cradle to grave* tj. od kolébky do hrobu, jinými slovy za celý životní cyklus vozidla. To znamená, že je brán v úvahu nejen provoz vozidla (*Tank-to-Wheel*), ale také výroba paliva nebo elektřiny (*Well-to-Tank*) včetně ztrát a také emise při výrobě vozidel a baterií.

Pro porovnání byl vybrán vždy jeden elektromobil a k němu pokud možno podobná vozidla (stejného resp. podobného typu a s podobným výkonem) s benzinovým a naftovým motorem od stejného výrobce, z produkce v letech 2018 a 2019. Veškerá data (výkon, hmotnost, spotřeba, kapacita baterie) byla čerpána ze serveru AUTOHLED [43], kde jsou prezentována oficiální data výrobců. Výběr byl ovlivněn dostupností dat vozidel splňujících tato kritéria:

- Jako reprezentant malých vozidel byla vybrána Škoda Citigo.
- Jako reprezentant středních vozidel Hyundai Kona.
- Jako reprezentant velkých vozidel Audi e-tron, resp. Audi Q8 quattro.

Emise z výroby automobilů

Podle studie IVL [22] vzniká při výrobě automobilu 5 až 10 t CO₂, přičemž nižší hodnota platí pro malé automobily a vyšší hodnota pro velké. Pro výpočet byla hodnota 5 t CO₂ přiřazena vozidlu Škoda Citigo s pohotovostní hmotností 929 kg a hodnota 10 t CO₂ vozidlu Audi Q8 quattro s pohotovostní hmotností 2170 kg. Pro výpočet emisí z výroby jiných vozidel je pak použita lineární závislost

$$m_{\text{poh}} = 929 + (2170 - 929) \cdot m \Rightarrow m = (m_{\text{poh}} - 929) / (2170 - 929)$$

$$emise_{\text{auto}} = 5 + (10 - 5) \cdot m \quad [\text{t CO}_2]$$

Pro vozidla s baterií je za m_{poh} dosazována pohotovostní hmotnost bez hmotnosti baterie (tab. 3), neboť emise z výroby baterií jsou počítány samostatně.

Emise z výroby baterií

Emise z výroby baterií se určí podle vztahu

$$\text{emise}_{\text{bat}} = 111 \cdot C \cdot f_{\text{CO}_2} / 1000 \quad [\text{t CO}_2]$$

kde 111 = 400/3,6 je průměrná spotřebovaná energie v kWh/kWh kapacity baterie (viz kap. Baterie), C je kapacita baterie v kWh a $f_{\text{CO}_2} = 0,77$ je emisní faktor Polska v kg/kWh.

Emise z výroby elektřiny (Well-to-Tank)

Pro vozidla s elektrickým pohonem se emise určí ze spotřeby v kWh/100 km

$$\text{emise}_{\text{jízda}} = \text{spotřeba}/100 \cdot n_{\text{top}} \cdot n_{\text{ztrat}} \cdot L \cdot f_{\text{co2}} / (\text{ztrat}_p \cdot \text{spot}_e \cdot 1000)$$

kde $n_{\text{top}} = 1,1$ je navýšení spotřeby o vliv topení [3], n_{ztrat} je navýšení spotřeby o vliv ztrát při nabíjení (obr. 9), $L = 100\,000$ km je ujetá vzdálenost, f_{co2} je emisní faktor v kg/kWh v ČR, $\text{ztrat}_p = 0,95$ je účinnost přenosu elektřiny sítí a spot_e = účinnost výroby elektřiny vlivem vlastní spotřeby elektráren (viz kap. Energie pro jízdu).

Emise z provozu vozidel (Tank_to_Wheel)

Pro vozidla s elektrickým pohonem

$$\text{emise}_{\text{jízda}} = 0$$

Emise CO₂ pro vozidla s benzinovými motory se určí ze známého vztahu [38]

$$\text{emise}_{\text{jízda}} = 23,38 \cdot \text{spotřeba} \cdot L / 10^6 \quad [\text{t CO}_2/100\,000 \text{ km}]$$

resp. pro naftové motory

$$\text{emise}_{\text{jízda}} = 26,83 \cdot \text{spotřeba} \cdot L / 10^6 \quad [\text{t CO}_2/100\,000 \text{ km}]$$

Emise z výroby paliva (Well_to_Tank)

Pro vozidla s benzinovými motory

$$\text{emise}_{\text{benzin}} = 12,36/100 \cdot \text{emise}_{\text{jízda}} \quad [\text{t CO}_2/100\,000 \text{ km}]$$

resp. pro naftové motory

$$\text{emise}_{\text{nafta}} = 10,62/100 \cdot \text{emise}_{\text{jízda}} \quad [\text{t CO}_2/100\,000 \text{ km}],$$

viz kapitola [Benzin a nafta](#).

Vypočtené hodnoty

Škoda Citigo iV – elektromobil

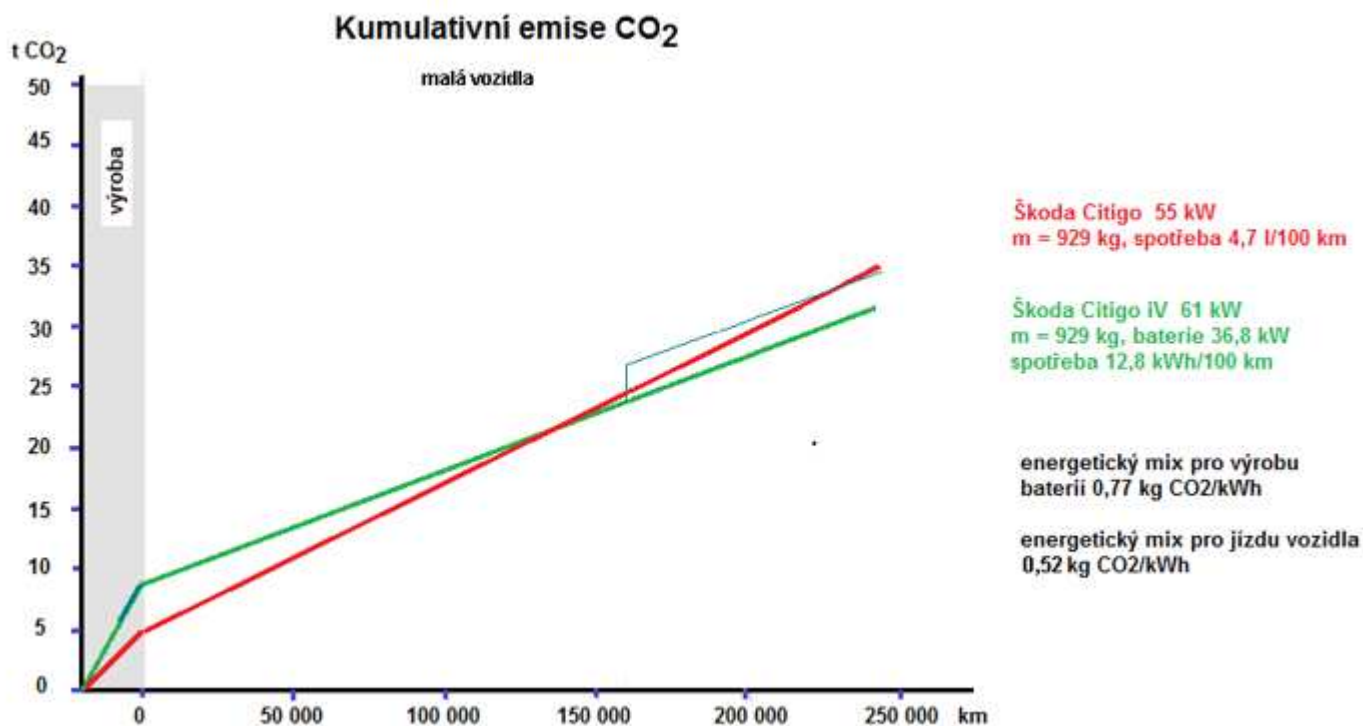
výkon $P = 61 \text{ kW}$, $m_{\text{poh}} = 1229 \text{ kg}$, z toho $m_{\text{bat}} = 248 \text{ kg}$, ztráty Citigo = ztráty VW up! (obr. 9), kapacita baterie $C = 36,8 \text{ kWh}$, spotřeba $12,9 \text{ kWh/100 km}$

- $\text{emise}_{\text{auto}} = 5,20 \text{ t CO}_2$ (výroba bez baterií)
- $\text{emise}_{\text{bat}} = 3,15 \text{ t CO}_2$ (výroba baterie)
- $\text{emise}_{\text{jízda}} = 9,67 \text{ t CO}_2$ (za 100 000 km)

Škoda Citigo – benzin

výkon 55 kW , $m_{\text{poh}} = 929 \text{ kg}$, spotřeba $4,7 \text{ l/100 km}$

- $\text{emise}_{\text{auto}} = 5,00 \text{ t CO}_2$ (výroba)
- $\text{emise}_{\text{jízda}} = 10,99 \text{ t CO}_2$ (za 100 000 km)
- $\text{emise}_{\text{benzin}} = 1,36 \text{ t CO}_2$ (za 100 000 km)



Obr. 13 Vypočtené hodnoty Škoda Citigo

Hyundai Kona Electric – elektromobil

výkon $P = 150 \text{ kW}$, $m_{\text{poh}} = 1760 \text{ kg}$, z toho $m_{\text{bat}} = 457 \text{ kg}$, kapacita baterie $C = 67,1 \text{ kWh}$, spotřeba $15,4 \text{ kWh/100 km}$

- $\text{emise}_{\text{auto}} = 6,51 \text{ t CO}_2$ (výroba bez baterií)
- $\text{emise}_{\text{bat}} = 5,74 \text{ t CO}_2$ (výroba baterie)
- $\text{emise}_{\text{jízda}} = 10,96 \text{ t CO}_2$ (za 100 000 km)

Hyundai Kona 1,6T-GDI – benzin

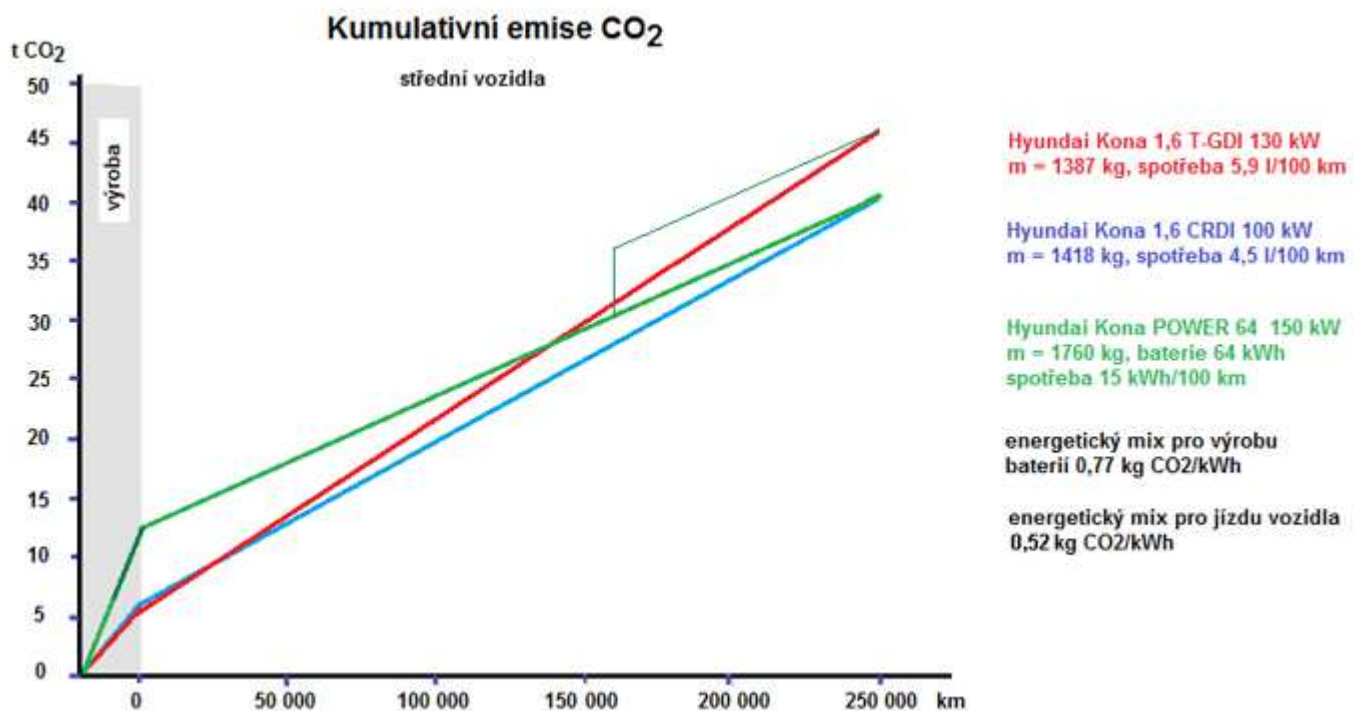
výkon 130 kW, $m_{\text{poh}} = 1387$ kg, spotřeba 5,9 l/100 km

- $\text{emise}_{\text{auto}} = 6,85$ t CO₂ (výroba)
- $\text{emise}_{\text{jízda}} = 13,80$ t CO₂ (za 100 000 km)
- $\text{emise}_{\text{benzin}} = 1,71$ t CO₂ (za 100 000 km)

Hyundai Kona 1,6 CRDI 136 – diesel

výkon 100 kW, $m_{\text{poh}} = 1418$ kg, spotřeba 4,5 l/100 km

- $\text{emise}_{\text{auto}} = 6,97$ t CO₂ (výroba)
- $\text{emise}_{\text{jízda}} = 12,07$ t CO₂ (za 100 000 km)
- $\text{emise}_{\text{nafta}} = 1,28$ t CO₂ (za 100 000 km)



Obr. 14 Vypočtené hodnoty Hyundai Kona

Audi e-tron 55 quattro – elektromobil

výkon $P = 300$ kW, $m_{\text{poh}} = 2565$ kg, z toho $m_{\text{bat}} = 700$ kg, kapacita baterie $C = 95$ kWh, spotřeba 23,7 kWh/100 km

- $\text{emise}_{\text{auto}} = 8,77$ t CO₂ (výroba bez baterií)
- $\text{emise}_{\text{bat}} = 8,12$ t CO₂ (výroba baterie)

- $emise_{jízda} = 17,49 \text{ t CO}_2$ (za 100 000 km)

Audi Q8 55 TFSI quattro – benzin

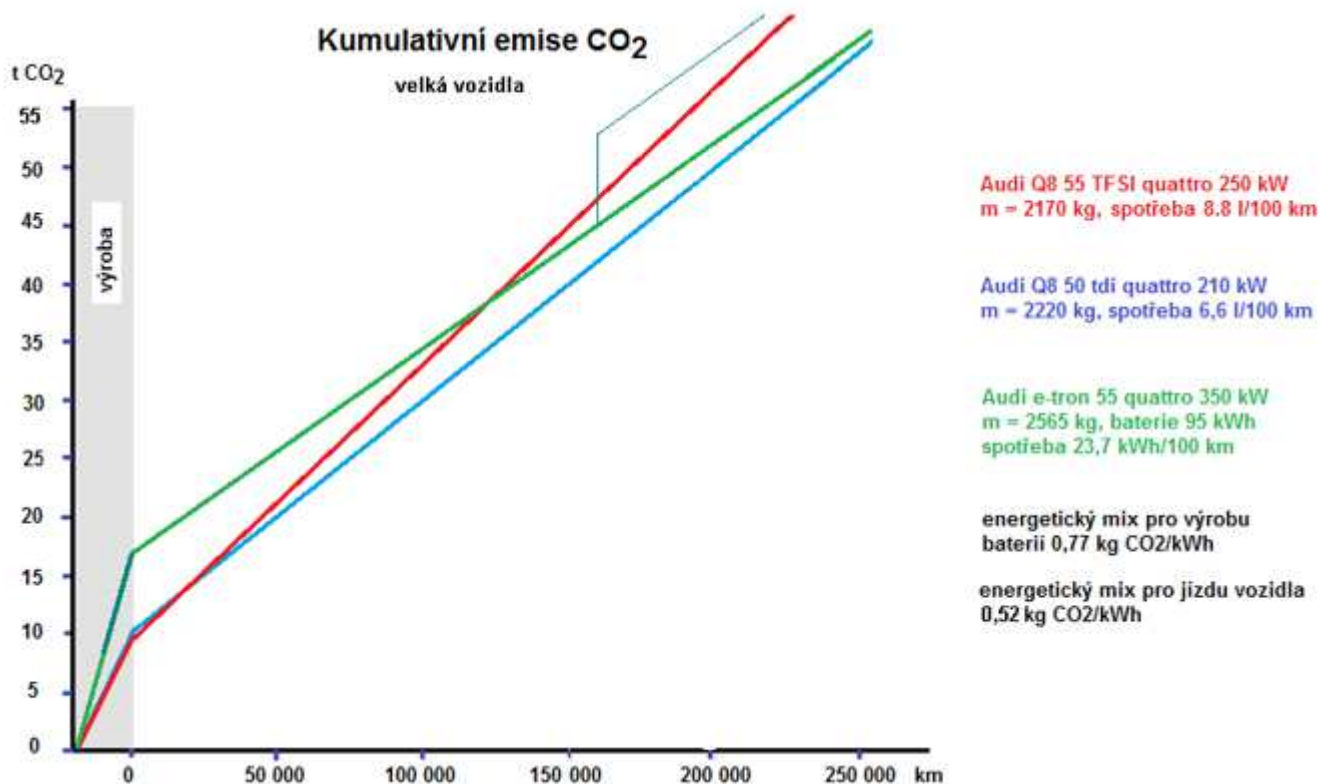
výkon 250 kW, $m_{poh} = 2170 \text{ kg}$, spotřeba 8,8 l/100 km

- $emise_{auto} = 10,00 \text{ t CO}_2$ (výroba)
- $emise_{jízda} = 20,57 \text{ t CO}_2$ (za 100 000 km)
- $emise_{benzin} = 2,54 \text{ t CO}_2$ (za 100 000 km)

Audi Q8 50 TDI quattro – diesel

výkon 210 kW, $m_{poh} = 2220 \text{ kg}$, spotřeba 6,6 l/100 km

- $emise_{auto} = 10,20 \text{ t CO}_2$ (výroba)
- $emise_{jízda} = 17,71 \text{ t CO}_2$ (za 100 000 km)
- $emise_{nafta} = 1,88 \text{ t CO}_2$ (za 100 000 km)



Obr. 15 Vypočtené hodnoty Audi e-tron/A8

Z výsledků je zřejmé, že v podmínkách ČR do přibližně 130 000 najetých km (cca 9 až 13 let provozu) má elektromobil vyšší emise CO₂ než automobil s benzinovým motorem a přibližně do 250 000 km (cca 17 až 25 let) má vyšší emise CO₂ než automobil s dieslovým motorem. Za předpokladu, že po ukončení záruky na baterii, tj. obvykle po 160 000 km dojde k výměně baterie (na obrázcích naznačeno tenkou zelenou čarou), bude elektromobil téměř vždy emisně horší do přibližně 250 000 km než automobil s benzinovým motorem a automobil s dieslovým

motorem nebude elektromobilem překonán z hlediska emisí CO₂ prakticky nikdy. Ještě výhodnější je klasický automobil na palivo s vysokým obsahem biosložky s recyklovaným uhlíkem, např. na bioplyn. Podstatný vliv na to mají emise vznikající při výrobě baterií, naznačené na obrázcích ve fázi výroby tmavší zelenou.

Tím, že se podle platné legislativy započítávají jen emise z provozu vozidel ($emise_{jízda}$) a vše ostatní se opomíjí lze dosáhnout uhlíkové neutrality, ale jen na papíře, nikoliv ve skutečnosti.

Porovnání emisí pro různé energetické mixy

Výše uvedené výsledky pro ČR neplatí obecně ve všech státech.

Jak veliký vliv má energetický mix jednotlivých zemí, tj. z čeho se elektřina vyrábí, ukazují následující hodnoty a obr. 16, který ukazuje emise v různých evropských zemích. V Norsku, kde téměř všechna elektřina je vyráběná z vodních zdrojů dojde k vyrovnání emisí CO₂ elektromobilu a automobilu přibližně po 40 až 45 tisících ujetých km (cca po 3 až 4 letech provozu). Příznivá situace je též ve Francii v důsledku toho, že tam $\frac{3}{4}$ elektrické energie pocházejí z jaderných elektráren. I na Slovensku je lepší situace než v ČR, rovněž vlivem vyššího podílu jádra.

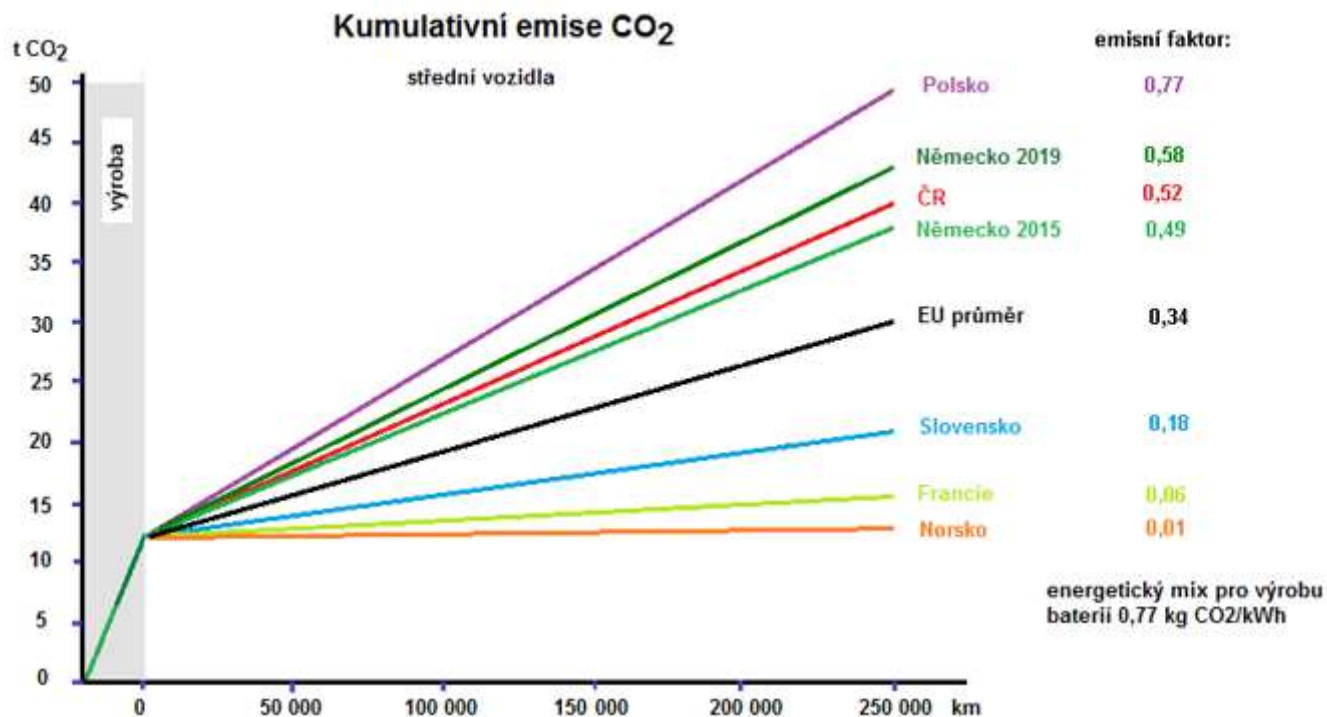
Příklad

Hyundai Kona Electric

výkon $P = 150$ kW, $m_{poh} = 1760$ kg, z toho $m_{bat} = 457$ kg, kapacita baterie $C = 64$ kWh, spotřeba 15,4 kWh/100 km

- $emise_{auto} = 6,51$ t CO₂ (výroba bez baterií)
- $emise_{bat} = 5,74$ t CO₂ (výroba baterie)

	emise z jízdy za 100 000 km	emise celkem
Polsko	$emise_{jízda} = 16,23$ t CO ₂	$emise_{celkem} = 28,48$ t CO ₂
ČR	$emise_{jízda} = 10,96$ t CO ₂	$emise_{celkem} = 23,21$ t CO ₂
Německo	$emise_{jízda} = 10,33$ t CO ₂	$emise_{celkem} = 22,58$ t CO ₂
Slovensko	$emise_{jízda} = 3,79$ t CO ₂	$emise_{celkem} = 16,04$ t CO ₂
Francie	$emise_{jízda} = 1,26$ t CO ₂	$emise_{celkem} = 13,51$ t CO ₂
Norsko	$emise_{jízda} = 0,21$ t CO ₂	$emise_{celkem} = 12,46$ t CO ₂
průměr EU	$emise_{jízda} = 7,17$ t CO ₂	$emise_{celkem} = 19,42$ t CO ₂
Německo 2019	$emise_{jízda} = 12,22$ t CO ₂	$emise_{celkem} = 24,47$ t CO ₂



Obr. 16 emise v různých zemích Evropy

Cena

Elektromobil není univerzální náhradou automobilu se spalovacím motorem, některé jeho vlastnosti bývají posuzovány zkráceně ([viz RÁMEČEK](#)) a jeho užívání vyžaduje určitou změnu životního stylu.

Jedním ze základních problémů je vysoká cena, ovlivněná především cenou baterií. Jen stěží lze dosáhnout požadovaných počtů prodaných elektromobilů (obr. 1) bez dotačních programů. Asi 75% prodaných elektrických vozidel v Evropě připadá na pět zemí (Norsko, Nizozemsko, Německo, Francii a UK), které prodej elektromobilů masivně dotují [9]. Současně lze pozorovat výrazné snížení jejich prodeje, pokud se dotace omezí. Např. v Číně po poklesu dotací o 50% mezi roky 2018 a 2019 klesl roční nárůst prodeje elektrických vozidel ze 79,2% na 2,8% [57]. Je otázkou, kdo dotace zaplatí: Buď stát (v Norsku z prodeje těžené ropy a zemního plynu), obecně však všichni daňoví poplatníci. Nebo automobilka, nikdo však nemůže dlouhodobě fungovat ve ztrátě. Proto výrobci musejí hledat další zdroje a musí tedy dojít ke zvýšení ceny klasických automobilů, jak se již v praxi začíná projevovat [10], [11], [13]. Za této situace je jakákoli, přímá nebo nepřímá podpora nákupu elektromobilu z veřejných zdrojů podporou bohatší části společnosti ze zdrojů, vytvořených všemi daňovými poplatníky. Jedná se o přerozdělování peněz ve prospěch těch, kteří si mohou dovolit vyšší cenu a pro které je elektromobil spíše výrazem postoje nebo prestižní záležitostí.

Městské elektromobily	Cena
Škoda Citigo iV *)	499 900 Kč
Renault Zoe	od 695 000 Kč
Mini Cooper SE	od 885 300 Kč

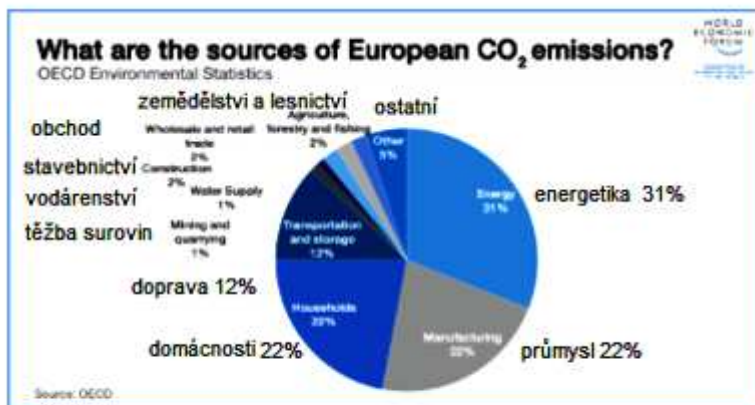
BMW i3	od 1 049 100 Kč
Střední elektromobily	Cena
Hundai Kona Electric	od 849 900 Kč
Nissan Leaf	od 937 000 Kč
VW ID.3	od 1 014 900 Kč
Škoda Enyaq	od 1 055 900 Kč
Kia e-Niro	od 1 099 980 Kč
Tesla Model 3	od 1 199 200 Kč
Tesla Model 3 long range	od 1 420 200 Kč
Výkonné elektromobily	Cena
Audi e-Tron	od 1 884 900 Kč
Jaguar i-Pace	od 2 113 870 Kč
Tesla Model S	od 2 271 000 Kč
*) již se nevyrábí	

Tab. 8 Ceny elektromobilů v ČR [8]

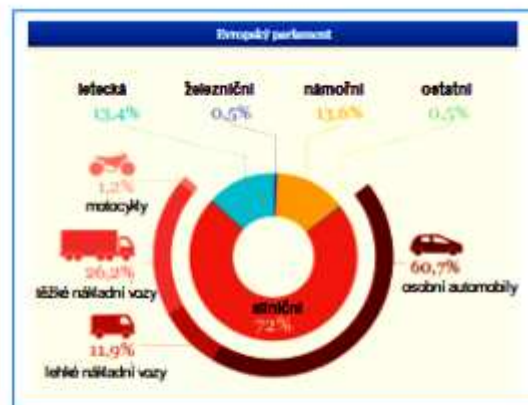
Pokud se do nákladů na provoz započítá amortizace pořizovací ceny, jsou náklady na provoz elektromobilu v ČR vyšší než náklady na provoz automobilu se spalovacím motorem [46]. A to i přes to, že elektromobily jsou prodávány za ceny, které výrobci nepřinášejí zisk nebo dokonce vytvářejí ztrátu [48] (což byl např. důvod zastavení výroby Citroen iV).

Závěr

O tom, že je účelné snižovat emise pocházející z lidské činnosti není pochyb. Mělo by se tak dít co nejefektivnější cestou. Největší podíl na emisích CO₂ v Evropě má energetika (výroba elektřiny a tepla), dále průmysl a domácnosti, viz obr. 17, podle jiných zdrojů i zemědělství. Mají-li být emise snižovány, mělo by se tak dít především v těchto oblastech. Podle OECD (obr.17) je podíl dopravy na emisích CO₂ v Evropě 12%, i když některé zdroje [34] uvádějí až dvojnásobnou hodnotu. Z toho podíl silniční dopravy dle Evropského parlamentu je 72%, osobní vozy se na ní podílejí 60%, obr. 17. Osobní automobily se tak podílejí na emisích CO₂ v Evropě cca 5 až 10%. Ať už je kterákoliv z těchto hodnot správná, uvážíme-li že podíl Evropy na celkových emisích CO₂ z lidské činnosti ve světě je cca 10% [49], pak by i hypotetická náhrada všech osobních vozidel v Evropě elektromobily způsobila změnu celkové produkce CO₂ vytvářených lidskou činností ve světě pouze o 0,5 až 1%. Reálně, i když dojde k podstatnému nárůstu počtu elektromobilů se stále bude jednat o malé zlomky procenta a v celkových emisích CO₂ ve světě (včetně přírodních zdrojů, které tvoří většinu CO₂ [56]) o zlomky promile! Jak vyplývá z modelových příkladů, v ČR bez současné výrazné změny ve výrobě elektrické energie by prakticky k žádné změně produkce emisí CO₂ nedošlo.



<https://www.weforum.org/agenda/2015/11/what-are-europe-s-biggest-sources-of-carbon-emissions/>



<https://www.google.com/search?q=evropsk%C3%BD+parlament+emise+z+dopravy&oq=&aqs=chrome.69i59i450l8.1128067704j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

Obr. 17 Podíl osobních vozidel na emisích CO₂ v Evropě

Současný trend honby za co největším dojezdem elektromobilů a co nejkratší dobou nabíjení je špatný. Špatný jak z ekonomického, tak i z ekologického hlediska. Vede k rostoucím emisím a k vysokým nákladům na výrobu bateriových vozidel a tím ke zvyšování ceny automobilů, zhoršování jejich dostupnosti a zpomalení přirozené výměny starších vozidel s vysokými emisemi [např. 15] za moderní s výrazně nižšími hodnotami emisí (obr. 2). Nejúčinnější cestou ke snížování emisí by byla právě rychlá obměna vozového parku moderními automobily s nízkými emisemi. Namísto toho aby emise klesaly, dochází k jejich zvýšení (obr. 3), což je opakem toho, čeho se mělo přísnějšími předpisy pro emise CO₂ dosáhnout.

Protože celkové emise CO₂ závisí na kapacitě baterie, znamená to, že čím větší je baterie, tím větší jsou emise CO₂ při její výrobě. Pro bateriová vozidla platí jednoduchá závislost:

delší dojezd ⇨ větší kapacita baterie ⇨ větší emise při výrobě baterie

Dalším důsledkem zvyšování kapacity baterií je zvětšování jejich rozměrů a zejména zvyšování jejich váhy (tab. 3). Tedy

větší kapacita baterie ⇨ vyšší váha baterie ⇨ větší spotřeba ⇨ větší emise v provozu

a také

větší kapacita baterie ⇨ vyšší cena

Se snahou o co nejkratší čas dobíjení rostou ztráty a tedy jednoznačně by mělo být preferováno pomalé dobíjení s nízkým výkonem. Převážně v noci, kdy výhodně vykřívá nižší odběr elektřiny a nižší vytížení elektráren a může využívat nízký tarif. Rychlé dobíjení vede

k vysokým investičním a provozním nákladům [12],[14], vytváří vysoký tlak na dostupný výkon ve špičkách a snižuje životnost baterií. Proto by mělo být pouze doplňkovou službou, zejména na dálkových tazích. Současné představy, že dostatečný počet výkonných rychlodobíjecích stanic vyřeší problém jsou nereálné a při větším rozšíření elektromobilů rychlé dobíječky stejně nebudou stačit [3]. Opět platí

kratší čas dobíjení ⇨ větší výkon nabíječky ⇨ větší ztráty ⇨ větší potřeba energie ⇨ větší emise

a také

kratší čas dobíjení ⇨ vyšší cena

Náhrada automobilů se spalovacím motorem elektromobily v České republice a v podobných zemích bez současné (nebo lépe předchozí) změny zdrojů elektřiny nevede při uvažování celého životního cyklu vozidla k reálnému snížení emisí CO₂. Zvýšení podílu obnovitelných zdrojů sice může pomoci, ale v podmínkách ČR tuto situaci nevyřeší. Jak moc je složení energetického mixu důležité ukazuje obr. 16.

Kvůli nedomyšleným emisním předpisům EU, zohledňujícím pouze jednostranný pohled bez širších souvislostí, podporovaný prohlášeními některých politiků i některých představitelů automobilového průmyslu, zelenými aktivisty a silnou mediální kampaní a také z obavy ze zaváhání a ztráty trhu (tzv. syndrom Nokie) museli výrobci automobilů investovat obrovské částky do vývoje elektromobilů. Zákonitě tedy očekávají, že se jim tato investice vrátí. To vede k situaci, že je velmi těžké od chybných rozhodnutí ustoupit. Proto lze těžko očekávat radikální zvrát v současném trendu. Co to bude mít za důsledky? Na prosperitě automobilového průmyslu je v Evropě závislých 14 milionů pracovních míst. V důsledku velmi vysokých nákladů na vývoj elektrických pohonů a v kombinaci s poklesem odbytu v souvislosti s koronavirovou krizí musí automobilky omezovat výdaje, čehož důsledkem je u řady firem (Mercedes, BMW, VW, Renault a další) masivní propouštění, v současnosti již desetitisíce zaměstnanců. Potenciálně hrozí i ztráta konkurenceschopnosti evropského automobilového průmyslu.

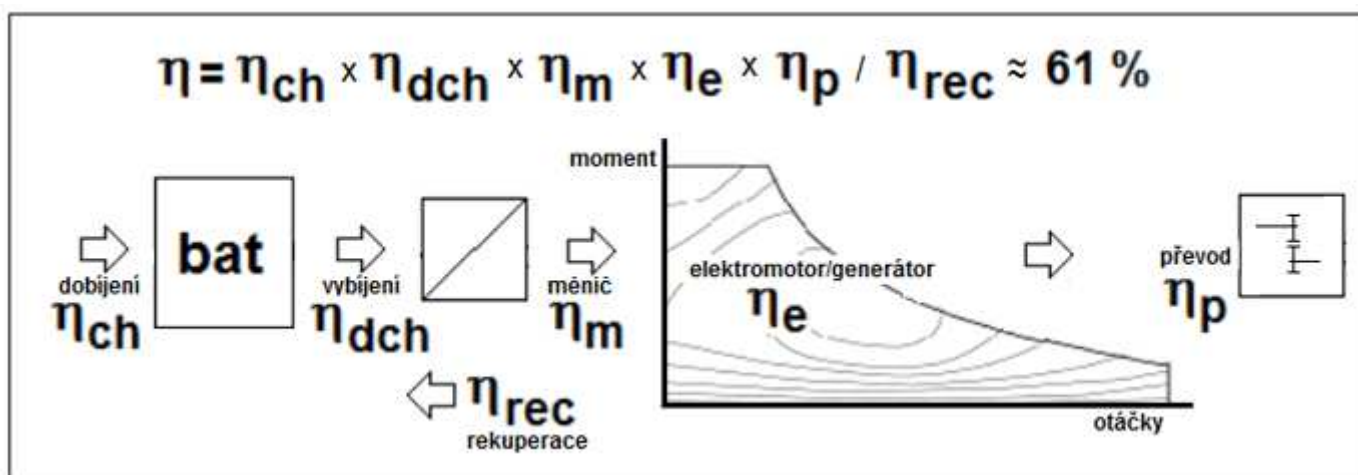
Každá komodita – v tomto případě automobily s benzinovým motorem, s naftovým motorem, různé druhy hybridů, bateriové elektromobily a v budoucnu i vodíkový pohon by měla být využívána v oblasti, kde je nejvýhodnější. Elektromobil není univerzální řešení. Namísto investic a dotací do elektromobilů by byl smysluplný podstatně větší důraz na výrobu moderních automobilů s nízkými emisemi, např. moderních Dieselů a rovněž mild- a full-hybridů, které vystačí s velmi malými bateriemi (tab. 4) a reálně (ne jen na papíře) snižují spotřebu a tím i emise. Navíc nepotřebují vůbec žádnou dobíjecí infrastrukturu. Po městě mohou jezdit převážně na elektřinu [47] a přitom nemají omezený dojezd. Bateriové elektromobily by měly být využívány zejména v městském provozu, kde jejich výhody – nulové emise za jízdy, tichý provoz a dobrá dynamika jízdy převažují nad negativy. Je celá řada aplikací, pro které jsou vhodné: Vozidla pro rozvoz zboží po městě, vozidla městských úřadů, servisní a komunální služby i druhý vůz v rodině (pokud bude za rozumnou cenu). Denní proběh městského vozu je zpravidla v desítkách km, proto by stačil dojezd cca 150 km na jedno nabití, který může být pokryt malou baterií s nízkou cenou, nízkou hmotností a nízkými emisemi z její výroby, snadno dobíjitelnou přes noc. Otázkou je, zda je zákazníci budou chtít.

RÁMEČEK

Častým argumentem uváděným ve prospěch elektromobilů, je, že elektromotor je jednodušší než spalovací motor. To je pravda, ale na druhé straně baterie je nesrovnatelně složitější než palivová nádrž o stejné kapacitě uložené energie.

Rovněž účinnost elektromotoru je vyšší než účinnost spalovacího motoru, přičemž se často účinnost spalovacího motoru uvádí 30% a elektromotoru 90 % i více. Reálně takto účinnosti počítat nelze. Jak spalovací motor, tak i elektromotor mají svoje pole účinnosti (specifické spotřeby) a uvedených hodnot dosahují jen v poměrně úzkém rozsahu momentů a otáček. Zejména v oblasti nízkých momentů a otáček, kde motor pracuje poměrně často, jsou účinnosti obou druhů motorů nižší.

Palivo do spalovacího motoru lze načerpat prakticky se 100% účinností. U elektrického pohonu je nutno vzít v úvahu účinnost nabíjení baterie, účinnost jejího vybíjení za provozu a účinnost měniče. Průměrná účinnost závisí na druhu provozu, zatížení vozidla a stylu jízdy řidiče. U benzinových motorů se pohybuje okolo 25%, [3] u naftových výše, cca 30% a u elektrických pohonů se blíží k 60% [51].



Vezmeme-li v úvahu i účinnosti výroby paliva a výroby elektřiny, není již mezi účinností pohonu spalovacím motorem a pohonu elektromotorem žádný významný rozdíl.

Je zde ale jiná odlišnost: Spotřeba u spalovacího motoru je nižší na otevřené silnici a vyšší ve městě. U elektromotoru je tomu naopak, nižší spotřeba je v důsledku rekuperace ve městě a mimo město roste s rychlostí a dynamikou jízdy. To je důvod, proč se elektrický pohon hodí pro město a není vhodný pro dálkové jízdy.

Dalším důvodem ve prospěch elektromobility bývá uváděno, že elektrická auta mají levnější provoz. To dnes platí jen podmíněně, pokud uživatel má možnost dobít vozidlo malým výkonem doma a případně částečně u dobíječky, ke které má kartu. Pokud dobíjí u veřejné dobíjecí stanice, již dnes ceny na km vycházejí vyšší než při jízdě na benzin [12]. A je nutné předpokládat, že při hromadnějším výskytu elektromobilů bude stát hledat náhradu za ušlou daň z benzínu, nejpravděpodobněji zvýšením daně z elektřiny především pro dobíjení elektromobilů.

U elektromobilu odpadají některé údržbové činnosti (např. výměna oleje v motoru) a uvádí se, že náklady na údržbu budou nižší. Avšak záruka na baterie bývá podmíněna jejich pravidelným servisem, což zvláště u vysokonapěťové baterie není jednoduchý a levný úkon.

Literatura:

[1] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS The European Green Deal. https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication_en.pdf

[2] JATO Dynamics: New car CO2 emissions hit the highest average in Europe since 2014. <https://www.jato.com/new-car-co2-emissions-hit-the-highest-average-in-europe-since-2014/>

[3] Morkus, Macek: Některé důsledky hromadného rozšíření elektromobilů pro ČR. Stavebnictví 11/19

[4] Global EV Outlook 2019 [online]. Paris: IEA, 2019 [cit. 2020-06-04]. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>

[5] Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility (NAP CM)2019. <https://mdcr.cz/getattachment/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Vlada-schvalila-aktualizovany-Narodni-akcni-plan-c/Aktualizace-NAP-CM.pdf.aspx>

[6] EU Emissions Standards: Exhaust emissions EURO 1 - 6. <https://twitter.com/ntbcc/status/1164508868510191617>

[7] V roce 2019 se v Česku počet aut do zásuvky zvýšil o čtvrtinu. <http://www.hybrid.cz/v-roce-2019-se-v-cesku-pocet-aut-do-zasuvky-zvysil-o-ctvrtinu>

[8] M. Příbyl: Vybíráme elektromobil: Výhody, nevýhody a nejlepší auta do zásuvky na trhu. <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/vybirame-elektromobil-vyhody-nevyhody-a-nejlepsi-auta-do-zas/r~f7b21c38b48d11ea8972ac1f6b220ee8/>

[9] Top-selling light-duty plug-in electric vehicle global markets. Wikipedia. [Odkaz zde.](#)

[10] Garáž.cz: Kvůli elektromobilům zdraží auta na benzin. Co bude dál? <https://www.garaz.cz/clanek/kvuli-elektromobilum-zdrazi-auta-na-benzin-co-bude-dal-21001417?dop-ab-variant=9&seq-no=2&source=hp>

[11] Autobible.cz: Malá auta zdraží až o polovinu. Kvůli elektrifikaci, varuje znovu Volkswagen. <https://autobible.euro.cz/mala-auta-zdrazi-chudsi-si-nebudou-moci-dovolit-rekl-sef-vw/>

[12] Cena dobíjení elektromobilů jde raketově nahoru, provoz je výrazně dražší než u konvenčních vozů. <https://www.info.cz/cesko/cena-dobijeni-elektromobilu-jde-raketove->

[nahoru-provoz-je-vyrazne-drazsi-nez-u-konvencnich-vozu-44152.html?utm_source=www.seznam.cz&utm_medium=sekce-z-internetu](https://www.seznam.cz/seznam/autovozidla/44152.html?utm_source=www.seznam.cz&utm_medium=sekce-z-internetu)

[13] Škoda zvedla ceny o desítky tisíc korun. Nejvíce zdražují méně ekologické verze. <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/skoda-drazeni/r~3d236e9c766e11ea842f0cc47ab5f122/>

[14] Časy levného dobíjení elektromobilů v EU končí, už teď může vyjít draž než tankování. <https://www.autoforum.cz/predstaveni/casy-levneho-dobijeni-elektromobilu-v-eu-skoncily-ted-muze-vyjit-i-draz-nez-tankovani>

[15] Informace, statistiky a zajímavosti z oblasti prodeje ojetých vozidel. <https://feedit.cz/2020/02/05/informace-statistiky-a-zajimavosti-z-oblasti-prodeje-ojetych-vozidel/>

[16] DAI, Qiang, Jarod C. KELLY, Linda GAINES a Michael WANG. Life Cycle Analysis of Lithium-Ion Batteries for Automotive Applications. Sustainable Lithium Ion Batteries: From Production to Recycling [online]. , 15 [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2313-0105/5/2/48/pdf>

[17] MAJEAU-BETTEZ, Guillaume. Life Cycle Environmental Assessment of Lithium-Ion and Nickel Metal Hydride Batteries for Plug-In Hybrid and Battery Electric Vehicles [online]. [cit. 2020-06-01]. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es103607c>

[18] DUNN, Jennifer, James CHRISTINE, Linda GAINES, Kevin GALLAGHER a Qiang DAI. Material and Energy Flows in the Production of Cathode and Anode Materials for Lithium Ion Batteries [online]. 2015 [cit. 2020-01-17]. <https://publications.anl.gov/anlpubs/2014/11/108520.pdf>

[19] DUNN, Jennifer, Linda GAINES, Jarod KELLY a Kevin GALLANGER. Life Cycle Analysis Summary for Automotive Lithiumion Battery Production and Recycling [online]. 2016 [cit. 2020-06-17]. <https://doi.org/10.1002/9781119275039.ch11>

[20] KIM, Hyung Chul. Cradle-to-Gate Emissions from a Commercial Electric Vehicle Li-Ion Battery: A Comparative Analysis [online]. 2016 [cit. 2020-06-01]. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.6b00830>

[21] JUNGMEIER, G. Geschätzte Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch in der Lebenszyklusanalyse von Pkw-basierten Verkehrssystemen: Version 1.1 [online]. Joanneum research life, 2019 [cit. 2020-01-19]. <https://www.adac.de/-/media/pdf/tet/lca-tool--joanneum-research.pdf?la=dede&hash=F06DD4E9DF0845BC95BA22BCA76C4206>

[22] ROMARE, Mia a Lisbeth DAHLLÖF. The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries: A Study with Focus on Current Technology and Batteries for light-duty vehicles [online]. In: Stockholm, Sweden: IVL Swedish Environmental Research Institute, 2017, s. 48 [cit. 2020-06-05]. ISBN 978-91-88319-60-9.

<https://www.ivl.se/download/18.5922281715bdaebede9559/1496046218976/C243%20The%20life%20cycle%20energy%20consumption%20and%20CO2%20emissions%20from%20lithium%20ion%20batteries%20.pdf>

[23] Britové zjistili skutečný dojezd současných elektromobilů, většinou je to mizérie. <https://www.autoforum.cz/zajimavosti/britove-zjistili-skutecny-dojezd-soucasnych-elektromobilu-vetsinou-je-to-mizerie/>

[24] GREET 2 Series (Vehicle-Cycle-Model). Argonne, 2018 [cit. 1. 6. 2020]. <https://greet.es.anl.gov/index.php>

[25] DUNN, J.B., M. BARNES, J. SULLIVAN a M. WANG. Material and Energy Flows in the Materials Production, Assembly, and End of Life Stages of the Automotive Lithium Ion Battery Life Cycle [online]. 2012 [cit. 2020-06-01]. <https://www.osti.gov/biblio/1044525-material-energy-flows-materials-productionassembly-end-life-stages-automotive-lithium-ion-battery-life-cycle>

[26] ELLINGSEN, Linda Ager - Wick. Life Cycle Assessment of a Lithium - Ion Battery Vehicle Pack [online]. [cit. 2020-06-01]. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jiec.12072>

[27] Batteryuniversity BMW i3 [online]. [cit. 2020-06-01]. https://batteryuniversity.com/learn/article/electric_vehicle_ev

[28] Reálný dojezd 12 elektromobilů: Kdo dojede nejdál a kdo nejvíc lze? <https://autobible.euro.cz/realny-dojezd-12-elektromobilu-dojede-nejdal-nejvic-lze/>

[29] ERÚ: Roční zpráva o provozu ES ČR 2016. <https://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni-zprava-provoz-ES-2016.pdf>

[30] Tzbinfo.cz: Emise CO2 a jejich dopad na hodnocení zdrojů v budovách. <https://vytapeni.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vytapeni/17112-emise-co2-a-jejich-dopad-na-hodnoceni-zdroju-v-budovach>

[31] [Next-generation vehicles strategy in Japan - News from JAMA. www.jama-english.jp](http://www.jama-english.jp)

[32] Národní energetický mix ČR za rok 2018. <https://www.energetikainfo.cz/33/zverejnen-narodni-energeticky-mix-cr-za-rok-2016-uniqueidgOkE4NvrWuMF1Z1s5yTC1Q6s4B03gR3VpA7ZLXn6iAo/>

[33] Výroba elektřiny z čínských uhelných elektráren letos významně roste. <https://oenergetice.cz/uhli/vyroba-elekriny-cinskyh-uhelnych-elekraren-letos-vyznanme-roste>

[34] IEA: Improving the sustainability of passenger and freight transport. <https://www.iea.org/topics/transport>

[35] Moro, A., Lonza, L., 2018. Electricity carbon intensity in European Member States: Impacts on GHG emissions of electric vehicles. Transp. Res. Part D Transp. Environ. 64, 5–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.07.012>

[36] LG postaví největší evropskou továrnu na baterie v polské Vratislavi. <http://www.hybrid.cz/lg-postavi-nejvetsi-evropskou-tovarnu-na-baterie-v-polske-vratislavi>

[37] Havlíček: ČEZ by mohl na severu Čech vyrábět baterie. <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/havlicek-cez-by-mohl-na-severu-cech-vyrabet-baterie-88348>

[38] Wikipedie. <https://cs.wikipedia.org/wiki/Benzin>

[39] Elektromobil pro všechny. První kilometry s VW ID.3 křížem krážem Českem. https://www.idnes.cz/auto/magazin/vw-volkswagen-id-3-elektromobil-jizda.A200830_075713_auto_testy_nyv?zdroj=vybava_idnes

[40] Charge curves: teslamotors. [Google search](#)

[41] Kosten für E-Autos: Ladeverluste nicht vergessen. ADAC e.V. | Technik | 22.07.2020. <https://presse.adac.de/meldungen/adac-ev/technik/ladeverlust.html>

[42] Verbrauch laut Bordcomputer: Exakt bis voll daneben. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/autotest/bordcomputer-verbrauchswerte/>

[43] Porovnání aut | Autohled.cz. <https://www.autohled.cz/porovnavac>

[44] Výpočet emisí na základě spotřeby. <http://www.envimat.cz/metodika/kalkulacka/>

[45] Analýza životního cyklu fosilních motorových paliv a biopaliv pro tvorbu koncepčních dokumentů zavedení daně z CO₂ v oblasti mobilních zdrojů. https://www.kverulant.org/upload/kc/files/bioomyl_SPII4i1_33_07_extrakt.pdf

[46] Náklady na provoz elektromobilu v ČR dosahují na částku 800 euro měsíčně. <https://www.testyojetin.cz/elektromobilita/naklady-na-provoz-elektromobilu-v-cr-dosahuji-na-castku-800-euro-mesicne>

[47] Kolik času ve městě zvládnou hybridní Toyoty jezdit pouze na elektrický pohon? <https://fdrive.cz/clanky/kolik-casu-ve-meste-zvladnou-hybridni-toyoty-jezdit-pouze-na-elektricky-pohon-4568>

[48] Škoda prodělává na každém Citigo iV přes 200 tisíc Kč, přesto ho vesele prodává. <https://www.autoforum.cz/predstaveni/skoda-prodelava-na-kazdem-citigo-iv-pres-200-tisic-presto-ho-vesele-prodava/>

[49] Bez CO₂ to lidstvu nejde. https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/bez-co2-to-lidstvu-nejde_46930.html

[50] Lithium nakupujeme od Číňanů, ale použité končí na skládce. Recyklace se nevyplatí. <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/lithium-nakupujeme-od-cinanu-ale-pouzite-konci-na-skladce-re/r~62c166ecb15911ea842f0cc47ab5f122/>

[51] Proč elektromobil? Asociace pro elektromobilitu České republiky. <http://www.elektromobily-os.cz/proc-elektromobil>

- [52] B. Wojnar: Hlavně nedělat do lodi nové díry. Český autoprůmysl 2/2020. https://autosap.cz/wp-content/uploads/2020/07/maketa_ca-02-2020.pdf
- [53] Přichází čas alternativních pohonů. https://autosap.cz/wp-content/uploads/2020/07/maketa_ca-02-2020.pdf
- [54] T. Straňák: Produkce CO₂ při výrobě baterií. [Bakalářská práce, ČVUT 2020.](#)
- [55] [Lindsay Brooke](#): Chevrolet Volt: Development Story of the Pioneering Electrified Vehicle. Hardcover – January 1, 2011
- [56] How do human CO₂ emissions compare to natural CO₂ emissions. <http://www.skepticalscience.com/human-co2-smaller-then-natural-emissions>
- [57] Tiande Mo, Kin Tak Lau, Chi Kin Poon, Xiaohua Ge, Yu Li, Chuliang Shan: Suitability of using Electric vehicles in Asia Countries. FISITA 2020
- [58] Počet elektromobilů se v České republice blíží desetitisícové hranici. <https://www.cdv.cz/tisk/pocet-elektromobilu-se-v-ceske-republice-blizi-desetitiscove-hranici/>