

Některé důsledky hromadného rozšíření elektromobilů pro ČR



Ing. Josef Morkus, CSc.

Absolvent Fakulty strojní ČVUT v Praze. Pracoval v Ústavu pro výzkum motorových vozidel a ve firmě Dolte s.r.o. jako vedoucí oddělení analýzy. V ČKD Praha Holding a.s., později ČKD Dopravní systémy a.s., se jako vedoucí technického oddělení nabídkové projekce zabýval koncepčním řešením kolejových vozidel. Od roku 2001 pracoval v Siemens Kolejová vozidla s.r.o. jako technický manažer. Od roku 2011 je odborným asistentem na Fakultě strojní ČVUT v Praze, Ústavu automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel.
E-mail: josef.morkus@fs.cvut.cz



prof. Ing. Jan Macek, DrSc., FEng.

V současné době vede Národní centrum kompetence J. Božka pro pozemní vozidla, spojující výzkum 30 akademických, výzkumných i průmyslových účastníků. Absolvent Fakulty strojní ČVUT v Praze. Pracoval ve Výzkumném ústavu ČKD PRAHA. Současně vyučoval na ČVUT v Praze na katedře automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel. V letech 1994–2015 katedru vedl. V období 1997–2000 děkan Fakulty strojní ČVUT v Praze, v letech 2006–2018 proděkan pro vědeckou a výzkumnou činnost FS. V letech 1990–1991 vyučoval na Sinclair College, Dayton Ohio, v roce 1994 byl tzv. visiting scientist na ETH Zuerich.
E-mail: jan.macek@fs.cvut.cz

Spoluautoři:

Ing. Miloslav Emrich, Ph.D.

E-mail: miloslav.emrich@fs.cvut.cz

Bc. Tomáš Diviš

E-mail: tomas.divis@fs.cvut.cz

Automobilový průmysl v současné době prochází a bude procházet i v následujících letech významnou změnou, asi největší ve své více než stoleté historii. Změnou, která je vyvolána stále zpříšňovanými emisními požadavky a pokutami za jejich neplnění.

Od roku 2015 platí v Evropě limit 130 g/km CO₂, od roku 2021 bude platit hodnota 95 g/km CO₂ a Evropská komise odsouhlasila další snížení emisí CO₂ o 37,5 %, tj. na cca 60 g/km v roce 2030. Situaci dále komplikují požadavky na měření emisí podle procedury WLTP (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure) pro každou modifikaci vozidla a od roku 2020 na měření emisí i v reálném provozu. Aby tyto požadavky, zejména limit CO₂, mohly být splněny a automobily se vyhnuly pokutám 95 eur za každý gram CO₂, navíc násobeno počtem prodaných vozidel, jsou nuceny vyvíjet a prodávat elektrifikovaná vozidla, především elektromobily a hybridy dobíjené ze sítě (plug-in). Tento článek se zabývá posouzením globálních důsledků pro ČR za hypotetické situace, kdy by se nahradily všechny osobní automobily a užitková vozidla do 3,5 t elektromobily v souladu s trendem nastupující legislativy. Podrobně se analyzují jak energetické nároky na dobíjení, tak reálné možnosti dostupných obnovitelných i neobnovitelných zdrojů elektrické energie, celková produkce emisí CO₂, ekonomické důsledky pro státní rozpočet, ale i praktické důsledky pro uživatele prezentované na několika modelových příkladech.

Úvod

Přesto, že je emisními předpisy dlouhodobě vyvíjen tlak na vývoj spalovacích motorů a snižování emisí CO₂, které řadu let klesaly, tento pokles se v posledních dvou letech zastavil a v letech 2017 a 2018 došlo k jejich mírnému nárůstu. To je přičítáno jednak oblíbě vozidel SUV, která zpravidla mají vyšší hmotnost, a tím i vyšší spotřebu, a dále neuváženému tažení proti vznětovým motorům, které obecně mají nižší emise CO₂ než motory zážehové.

Je zřejmé, že dosavadní represivní přístup se v poslední době míjí účinkem, a to nahrává názorům, že budoucnost automobilů je čistě elektrická. Základním problémem emisních předpisů je skutečnost, že se zabývají jenom emisemi vznikajícími při jízdě vozidla a zcela pomíjejí skutečnost, že emise vznikají i při výrobě paliva (ať již benzínu, nafty, biopaliva nebo elektřiny), při výrobě baterií a při výrobě i údržbě zařízení pro produkci elektřiny z obnovitelných zdrojů. Často se argumentuje nižší cenou elektrické energie, která však dosud není v ČR zatížena spotřební daní, jež do jisté míry doplňuje daň silniční. Pokud tedy dojde k náhradě automobilů elektromobily, bude nutné potřebné množství elektřiny někde vyrobit. Současně bude nutné vybudovat potřebnou infrastrukturu k distribuci energie a dobíjení elektrických vozidel. Při současném malém počtu elektromobilů se mnohé otázky jeví jako banální nebo snadno řešitelné, mohou však mít zásadní vliv, pokud dojde ke hromadnému rozšíření vozidel s elektrickým pohonem.

Spotřeba energie vozidel se spalovacími motory

Abychom získali představu o celkové spotřebě energie pro elektromobily, můžeme vyjít z toho, kolik energie spotřebují automobily.



▲ Obr. 1 Nabíjecí stojany budeme na ulicích vidět stále častěji (zdroj: Adobe Stock)

V úvahu jsou vzata všechna osobní vozidla s benzinovým nebo naftovým motorem, dodávky a další užitková vozidla do 3,5 t, která jsou v ČR v provozu. Nákladní automobily nad 3,5 t nejsou v tomto případě uvažovány, protože pro jejich provoz by byly potřeba jednak značně větší baterie, jednak mnohem silnější nabíjecí infrastruktura. Jako zdroj jsou použity podklady [1, 2 a 3], ve kterých jsou podrobně rozpracovány informace o počtech vozidel, jejich spotřebě, počtu ujetých km a další údaje. Použity jsou údaje platné pro rok 2016. Z těchto hodnot byly váženým průměrem vypočteny sumární údaje o počtu vozidel, jejich ročním proběhu a průměrné spotřebě uvedené v tab. 1.

Z těchto údajů lze snadno určit spotřebu benzínu uvažovanými vozidly, která v roce 2016 byla 1 897 920 100 l (tj. 1 424 000 t). Celková spotřeba benzínu v ČR v roce 2016 činila 1 605 000 t [4]. Rozdíl může být způsoben nezahrnutou spotřebou motocyklů, zahradního a lesního nářadí apod. i nevyrovnaným čerpáním benzínu cizími vozidly v ČR a tuzemskými vozidly v zahraničí.

Podobně spotřeba nafty uvažovanými vozidly byla 2 519 430 000 l (tj. 1 890 000 t). Celková spotřeba nafty v roce 2016 byla vyšší, 4 733 000 t [4], což zahrnuje nejen silniční dopravu včetně nákladních vozidel, ale i železnici, říční dopravu, stavebnictví, zemědělství a lesnictví. Vliv má i tranzit, kde lze pouze odhadovat rozdíl, zmíněný u benzínu. Ze spotřeby lze přes výhřevnosti paliv stanovit energii spotřebovanou automobily se zážehovými motory, která je 60 506 TJ, a energii spotřebovanou naftovými motory, 80 722 TJ.

Pouze část této energie se využije pro pohon vozidel, větší část se odvede chladičem a výfukovými plyny, část se spotřebuje na mechanické ztráty (včetně pohonu rozvodu, vstřikování paliva atp.) a část na vlastní spotřebu automobilu (klimatizace, palubní řídicí elektronika, osvětlení, zábavní elektronika apod.). Podle dostupných

údajů z literatury je průměrná účinnost zážehového motoru cca 24 % (viz obr. 3, kde jsou jednotlivé ztráty vztaženy na celkovou energii v ropě). Účinnost převodů uvažujeme 96 %. S použitím těchto účinností pak vychází energie skutečně využitá pro pohon vozidel s benzinovými motory 13 941 TJ.

Podobně se pro pohon vozidel s naftovým motorem spotřebuje 22 473 TJ, přičemž průměrná účinnost vznětového motoru je 29 % a účinnost převodů 96 %.

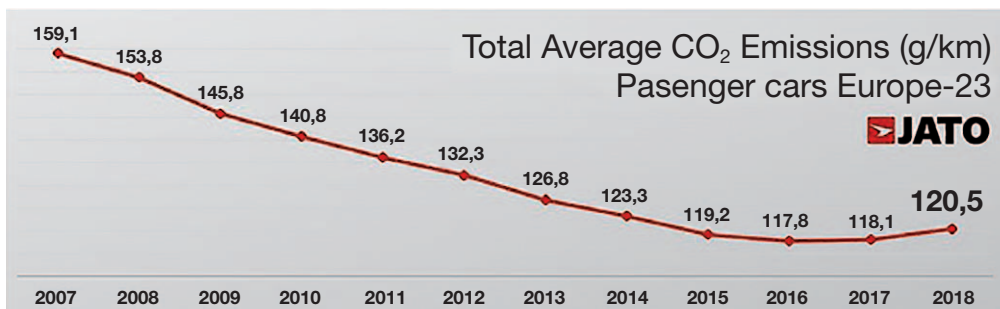
Celkem tedy za rok 2016 osobní a lehká nákladní vozidla spotřebovala 36 414 TJ energie pro samotnou jízdu (spotřeba na kolech vozidel).

Spotřeba energie elektromobilů

V dalším předpokládáme, že pro pohon elektromobilů bude potřeba stejné množství energie na kolech vozidla jako na pohon vozidel se spalovacím motorem. Ve skutečnosti bude tato hodnota poněkud vyšší, neboť elektromobily jsou v důsledku váhy baterií obecně těžší než běžné automobily, zejména v případech, kdy se požaduje dojezd srovnatelný s klasickým automobilem.

Tuto energii je nutné přepočítat na baterii, tj. zahrnout ztráty vznikající nabíjením a vybíjením baterie, ztráty v měničích, elektromotoru a v převodech. Podle Asociace pro elektromobilitu v ČR [7] je celková účinnost elektromobilu od procesu nabíjení po jízdu větší než 60 %. Jiný zdroj [8] udává interval účinnosti 59–62 %. Při uvažování účinnosti elektromobilů 61 % by bylo potřeba do baterií elektromobilů dodat 59 695 TJ ročně.

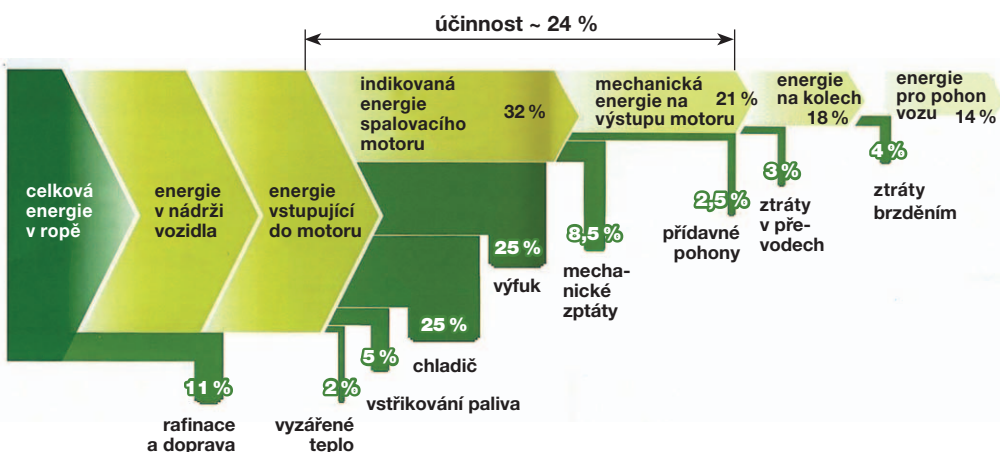
Část této energie získá elektromobil zpět rekuperací při brzdění elektromotorem, který v této fázi pracuje jako generátor. Tento podíl výrazně závisí na druhu provozu a stylu jízdy řidiče. Zdroj [6] udává,



▲ Obr. 2 Vývoj emisí CO₂ v Evropě [5]

| Benzin | Nafta |
|--------------------------|---------------------------|
| Počet vozidel: 3 415 419 | Počet vozidel: 2 432 645 |
| Roční proběh [km]: 7538 | Roční proběh [km]: 17 800 |
| l/100 km: 7,4 | l/100 km: 5,8 |

▲ Tab. 1 Přehled základních údajů o vozidlech



▲ Obr. 3 Tok energie ve vozidle se spalovacím motorem [6]

že ztráty brzděním jsou 4 % původní energie v ropě (obr. 3), při rekuperaci můžeme zpět do baterie získat pouze část těchto ztrát. Jiný zdroj [9] udává, že rekuperací se vrací 5 % energie, ve městském provozu bývá tato hodnota vyšší. Uvažujeme-li návratnost energie rekuperací 4 %, bude celková roční spotřeba pro pohon elektromobilů korigována na 57 307 TJ.

V zimních měsících je nutné ve vozidle topit, jednak kvůli pohodlí posádky, jednak kvůli odmízení skel. Ve vozidle se spalovacím motorem je k vytápění používáno odpadní teplo motoru. Pokud toto teplo zahrneme do účinnosti, pak účinnost spalovacího motoru bude vyšší než dříve uváděných 24 %. Naproti tomu u elektromobilu je

| Podmínky jízdy | Zvýšení spotřeby |
|--|------------------|
| Jízda s topením – teplota okolí 0 °C | + 24 % |
| Jízda s topením – teplota okolí -15°C až -20°C | + 65 % |

▲ Tab. 2 Zvýšení spotřeby energie vlivem topení (Nissan Leaf)

| Měsíc | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. |
|----------------------|-------|-------|-------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|-------|-------|
| Zvýšení spotřeby [%] | +36,3 | +21,7 | +11,8 | +9,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | +0,4 | +4,7 | +16,2 | +22,3 |

▲ Tab. 3 Procentuální zvýšení spotřeby energie vlivem topení v jednotlivých měsících roku

nutné topit elektřinou z baterie (případně využít odpadní teplo z elektromotoru a z baterie, které však k vytápění vozidla nestačí a je nutno jej doplnit např. tepelným čerpadlem), účinnost elektrického pohonu bude tedy nižší než výše uváděných 61 %. Pro stanovení vlivu topení na spotřebu energie z baterie je možné vyjít například z údajů o spotřebě elektromobilu Nissan Leaf v reálném provozu při různých venkovních teplotách [10] (viz tab. 2).

Vytápění vozidla závisí samozřejmě na subjektivním pocitu řidiče (s výjimkou odmízení skla). Zvolíme-li za počátek vytápění venkovní teplotu 12 °C, odpovídající střední teplotě v září, lze dopočítat zvýšení spotřeby při různých venkovních teplotách pomocí polynomu 2. stupně. Porovnáním s průměrnými měsíčními teplotami v ČR podle Českého hydrometeorologického ústavu [12] lze stanovit zvýšení spotřeby během kalendářního roku [13] (tab. 3).

Celková spotřeba elektromobilů pak bude 63 191 TJ. V případě hromadného rozšíření elektromobilů bude tuto energii nutné vyrobit navíc k současné spotřebě.

Pro srovnání – v jaderné elektrárně Temelín se v roce 2016 vyrobilo 12 149 TWh [14], tj. cca 43 740 TJ elektřiny. To znamená, že celková potřebná energie pro nabíjení

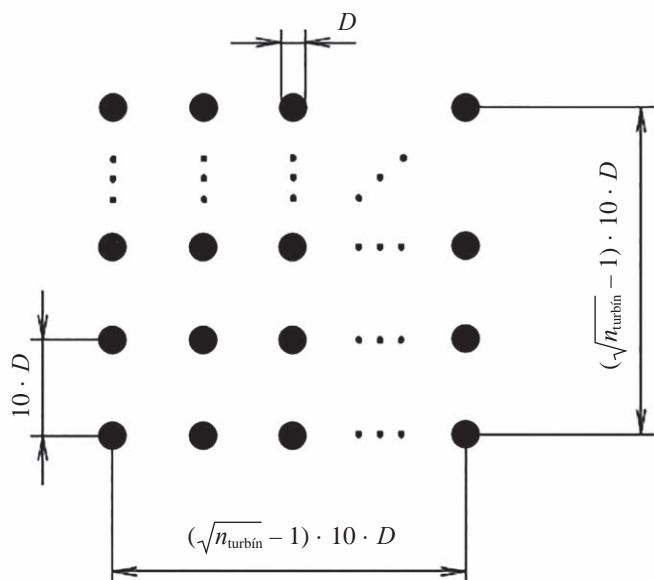
uvažovaných elektromobilů odpovídá zhruba 1,5násobku produkce JE Temelín, bylo by tedy potřeba postavit tři nové bloky.

Zdroje elektrické energie

Vzhledem k tomu, že elektrická energie je vyráběna jinde než v místech, kde bude spotřebována k nabíjení elektromobilů, je nutno vzít v úvahu ztráty v distribuční síti. Účinnost přenosu energie v distribuční síti je přibližně 95 %. Lze ji určit z údajů Energetického regulačního úřadu, ze ztrát v síti a z celkové produkce elektřiny v ČR v roce 2016 [15].

I elektrárny mají určitou vlastní spotřebu energie. Koeficient, který udává relativní velikost této spotřeby, se určí z poměru technologické spotřeby elektřiny a celkové produkce elektřiny dodané do sítě a odpovídá 93 %.

Celkové množství elektrické energie, které bude nutné vyrobit pro pohon elektromobilů, bude tedy větší o tyto ztráty a rovná se 71 523 TJ, což odpovídá přibližně 20 000 000 MWh za rok.



▲ Obr. 4 Schéma větrné farmy

Otázkou tedy je, kde získat tuto energii, která je nad rámec současné spotřeby energie v ČR. Obvyklá odpověď zní „z obnovitelných zdrojů“. Za tyto obnovitelné zdroje můžeme počítat vodu, vítr a slunce.

Vodní energie

Možnosti výroby elektrické energie z vodních toků jsou již v ČR do značné míry vyčerpány, její podíl na energetickém mixu ČR je malý (obr. 9) a možné lokality pro stavbu dalších přehrad, hydroelektráren a přečerpávacích elektráren narážejí často na nesouhlas ochránců přírody a místních obyvatel [44].

Větrná energie

Celkový instalovaný výkon větrných elektráren v ČR byl v roce 2016 podle ERÚ [15] 282 MW, ale roční výroba dosáhla pouze 1789 TJ, tj. 496 957 MWh z důvodu nestálé síly větru. Pak koeficient využití větrných elektráren, který ukazuje, jaká část z celkové instalované kapacity se skutečně využívá, je 0,201. Celkově se tedy větrné elektrárny během roku využívají ze zhruba 20 % svého maximálního výkonu. Vezmeme-li v úvahu větrnou turbínu VESTAS V90 s instalovaným výkonem 2 MW a průmětem rotoru 90 m [16], pak každá taková turbína může za rok vyrobit 12,68 TJ energie. Pokud by měly takové turbíny pokrýt celou spotřebu energie pro uvažované elektromobily, bude jich potřeba postavit 5640.

Tyto turbíny však není možné vystavět příliš blízko u sebe, aby nedocházelo k negativnímu ovlivňování proudu vzduchu. Doporučený rozestup bývá udáván jako šestinásobek až desetinásobek průměru rotoru, u velkých farem až patnáctinásobek [40]. Pokud by byla větrná farma vybudována jako čtvercová oblast s uvažovaným rozestupem rovným desetinásobku průměru rotoru, lze si oblast představit podle obr. 4.

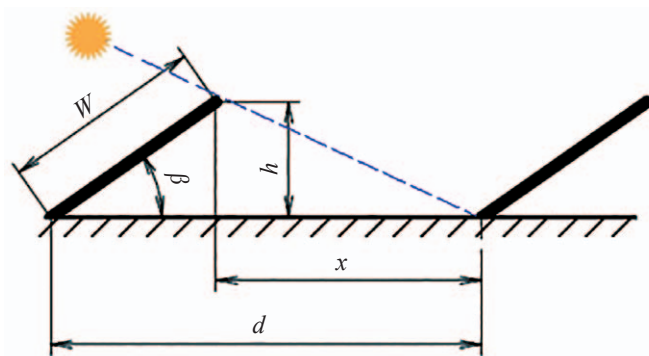
Jednoduchým výpočtem lze zjistit, že by tato elektrárna zabrala plochu cca 4500 km². To se pro představu rovná přibližně ploše Pardubického kraje nebo téměř devítinásobku rozlohy Prahy. Navíc by se jednalo o zdaleka největší větrnou elektrárnu na světě, jelikož ta současně největší se rozkládá na ploše 150 km² [41].

Sluneční energie

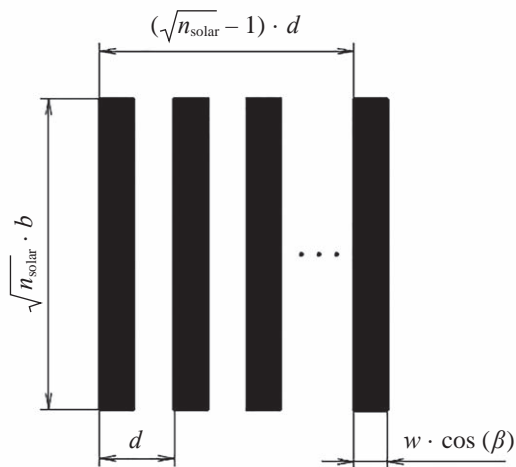
Celkový instalovaný výkon fotovoltaických elektráren v ČR byl v roce 2016 podle ERÚ 2067,9 MW [15], ale roční výroba dosáhla pouze 2 131 455 MWh (= 7673 TJ) z důvodu proměnlivosti slunečního svitu.



▲ Obr. 5 Rozloha krajů v ČR – Praha 496 km², Pardubický kraj 4519 km²



▲ Obr. 6 Rozmístění solárních panelů 1



▲ Obr. 7 Rozmístění solárních panelů 2

Pak koeficient využití fotovoltaických elektráren je 0,118. Uvažujeme-li např. použití solárních panelů GWL/Sunny Poly o špičkovém výkonu 270 Wp a rozměrech 1,65 × 1 m [17], bude množství energie vyrobené jedním tímto panelem 0,001 TJ za rok a potřebné množství panelů bude 71,5 milionu.

Solární elektrárnu si lze představit podle schémat na obr. 6 (pohled z boku) a obr. 7 (pohled shora), kde rozměry odpovídají takovému rozložení, při kterém je počet panelů v jedné řadě roven celkovému počtu řad. Pro naše zeměpisné šířky je doporučený sklon solárních panelů β 35° [42]. Značný vliv na zastavěnou plochu bude mít vzdálenost mezi dvěma sousedními řadami panelů. Pro eliminaci nežádoucího stínění je vhodné volit tuto vzdálenost co největší, to však zároveň znamená větší zastavěnou plochu, tudíž se v tomto ohledu volí kompromis. V zeměpisné poloze ČR je optimální vzdálenost $d = 7$ m.

Se zmíněnými hodnotami lze jednoduchým výpočtem určit celkovou plochu elektrárny, která vychází zhruba 500 km², což se přibližně rovná ploše Prahy. Jelikož není žádoucí instalovat sluneční elektrárny na zemědělsky využitelné půdě, je otázkou, zda je k dispozici např. dostatečný počet střech použitelných pro instalaci těchto panelů.

Navíc je tu další problém – slunce svítí během dne, v závislosti na počasí a roční době s různou intenzitou, ale dobíjení elektromobilů se očekává většinou přes noc. energii získanou ze solárních panelů by proto bylo nutné někde uschovat na dobu, kdy bude spotřebována. Převážně by se jednalo o vysokokapacitní bateriová úložiště, která jsou velmi nákladná. V domácnostech by částečně bylo možné využívat vyřazené baterie z elektromobilů. Uvážíme-li navíc účinnost nabíjení a vybíjení těchto akumulátorů, znamená to, že počet solárních panelů by musel být ještě větší. A podobně totéž platí i pro větrné elektrárny.

Je zřejmé, že jakkoli jsou obnovitelné zdroje energie pozitivní z hlediska zachování životního prostředí, přes značné náklady vložené do jejich výstavby mohou pokrýt spotřebu elektromobilů jen po dobu, kdy bude těchto vozidel poměrně málo a na pokrytí spotřeby elektřiny při hromadné náhradě automobilů vozidly s elektrickým pohonem v podmínkách ČR rozhodně nestačí. Tuto situaci bude nutné řešit buď výstavbou dalších jaderných zdrojů (což má také své odpůrce), nebo dovozem elektřiny namísto jejího současného exportu.

Emise

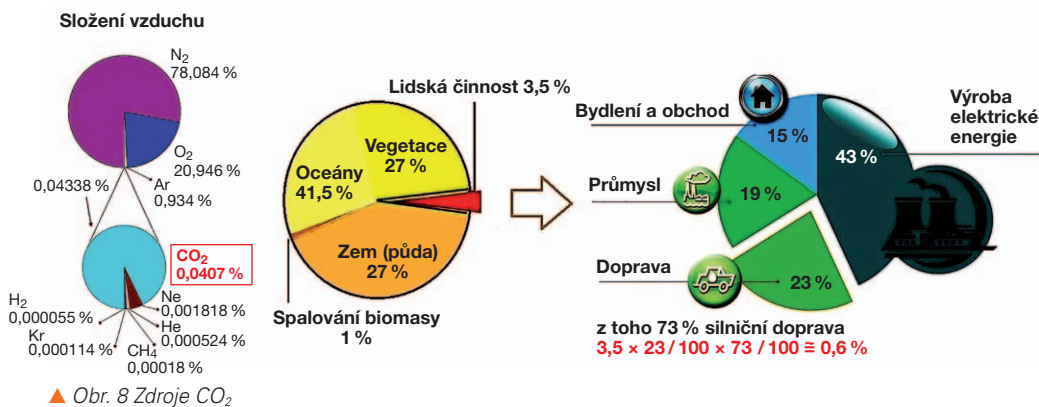
Nespornou předností elektrických pohonů vozidel je eliminace oxidu dusíku NO_x a částic PM, pocházejících z výfukových plynů automobilů se spalovacím motorem, emitovaných ve městech v přímém kontaktu s obyvateli. I když v současnosti dostupné technologie

dokáží množství těchto škodlivých látek snížit na minimum, jejich úplné odstranění by zlepšilo ovzduší zejména ve městech. Tepelné elektrárny však také emitují jak částice, tak oxidy dusíku, byť rovněž ve velmi omezeném množství po čištění spalin.

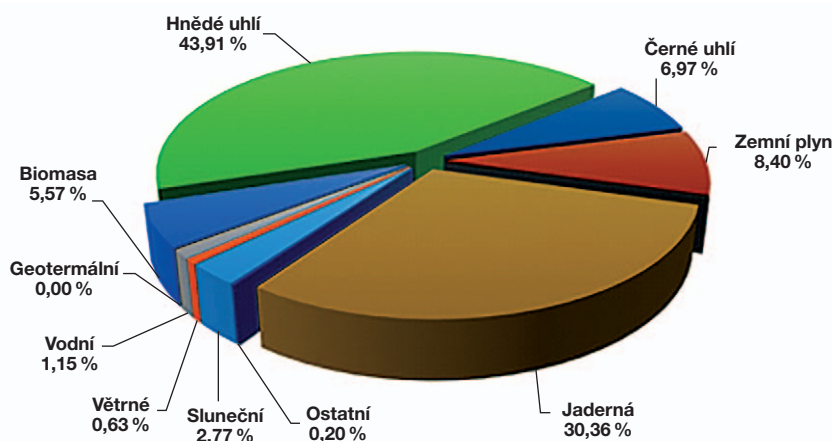
Nicméně aktuálně problematickou a nejvíce sledovanou složkou emisí jsou plyny, jimž je připisován skleníkový efekt. Z nich nejvíce produkovanou složkou je oxid uhličitý CO₂. Ostatní skleníkové plyny emitované provozem vozidel, jako např. metan, se přepočítávají na ekvivalentní množství CO₂. Pokuty, které budou automobilky platit od roku 2021 za nesplnění limitu CO₂, mohou být pro výrobce až likvidační.

CO₂ je přirozenou součástí atmosféry (dnes kolem 0,04 %) a v běžných množstvích není zdraví škodlivý, pokud pomineme jeho nedýchateľnost při velkých koncentracích v řádu procent a vyšších. Je mu však připisován významný podíl na globálním oteplování. Naprostá většina CO₂ pochází z přírodních zdrojů, pouze asi 3 % až 5 % z lidské činnosti, i když tento podíl pomalu roste. Z toho největší část tvoří výroba elektrické energie, průmysl a domácnosti, na dopravu připadá přibližně 1/5 až 1/4 a z ní zhruba 3/4 tvoří silniční doprava. Údaje z jednotlivých zdrojů se poněkud liší, avšak z výfuků automobilů vychází zlomek procenta z celkové produkce CO₂ ve světě. Navíc Evropa se na ní podílí pouhými 15 % (obr. 8). Množství oxidu uhličitého, vyprodukované osobními a užitkovými automobily v ČR, lze spočítat z jejich spotřeby a v roce 2016 z jejich výfuků vyšlo 11 195 900 t CO₂. Pokud dojde k náhradě zde uvažovaných automobilů elektromobily, výše uvedené emise CO₂ zmizí. To by byl beze sporu pozitivní výsledek a údaj, jímž mnozí aktivisté argumentují. Pro provoz elektromobilů však bude nutné vyrobit přibližně 20 000 000 MWh elektrické energie (viz výše). V České republice se zhruba polovina elektrické energie vyrábí spalováním uhlí (obr. 9). Množství vyprodukovaných emisí oxidu uhličitého při výrobě elektřiny lze spočítat jako součin vyrobené energie a emisního faktoru $ef_{CO_2} = 0,52$ t CO₂/MWh (obr. 10), jenž je pro energetický mix ČR (obr. 9) uváděn v [19] s odvoláním na statistická data Mezinárodní energetické agentury. Při výrobě elektřiny tedy vznikne (a „z komína elektrárny“ vyjde) 10 400 000 t CO₂. Porovnáme-li emise, vzniklé při provozu automobilů (11 195 900 t CO₂), a emise vytvořené při výrobě elektřiny pro ekvivalentní množství elektromobilů (10 400 000 t CO₂), je zřejmé, že při náhradě automobilů se spalovacími motory elektromobily se při zachování současného energetického mixu ČR neušetří téměř nic. Rozdíl je pouhých několik procent.

Je nutné poznamenat, že toto neplatí obecně. V zemích, kde velký podíl elektrické energie pochází z vodních elektráren (např. Norsko, Švýcarsko apod., viz obr. 10), dojde přechodem na elektromobilitu k významné úspoře emisí CO₂. Podobně ve Francii, kde zhruba ¾ elektřiny pocházejí z jaderných zdrojů, dojde k úspoře emisí. Naopak v Polsku (a podobně např. v Číně), kde se podstatná část elektřiny vyrábí z uhlí, by přechodem na elektromobilitu došlo ke zvýšení emisí CO₂.



▲ Obr. 8 Zdroje CO₂



▲ Obr. 9 Energetický mix ČR pro výrobu elektrické energie v roce 2016

Z hlediska globálního oteplování je lhostejné, zda je oxid uhličitý vyprodukován z výfuků automobilů ve městě nebo z komínu elektrárny vzdálené např. 100 km či dokonce v jiné zemi. K emisím vznikajícím při provozu automobilů je proto potřeba přičíst emise vznikající při výrobě paliv (cca 12 %) [6] a pro provoz elektromobilů připočítat i jednorázové množství emisí vznikajících při výrobě baterií. Toto množství není zanedbatelné, údaje v literatuře se liší a odpovídá množství emisí vyprodukovaných srovnatelným automobilem za několik let provozu.

S uvážením těchto skutečností lze konstatovat, že bez výrazné změny energetického mixu ČR ani přes vysoké náklady vložené automobilkami do vývoje a výroby elektromobilů a státem do nabíjecí infrastruktury nedojde v ČR při přechodu na elektromobily ke snížení emisí CO₂. Tento závěr platí obecně pro každý počet elektromobilů, a tedy i pro nadcházející období postupného nahrazování automobilů se spalovacími motory bateriovými elektromobily.

Spotřeba a dojezd elektromobilů

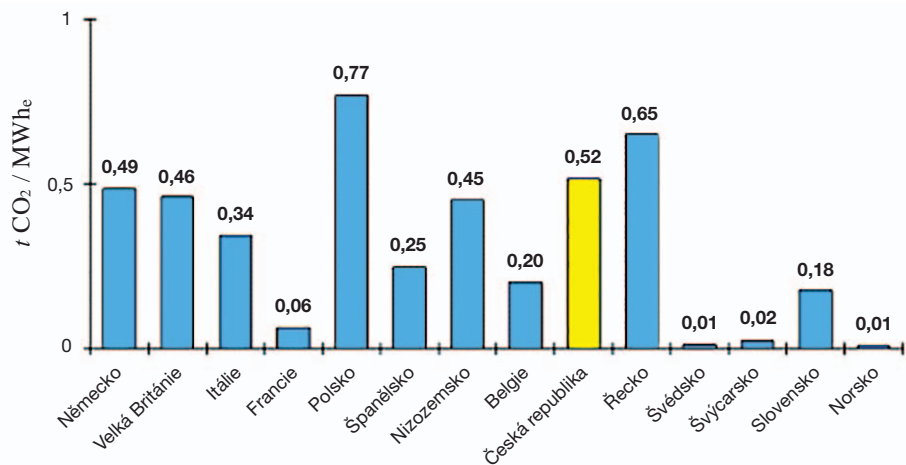
Nejvíce sledovanými parametry u elektromobilů je jejich dojezd na jedno nabití a čas nabíjení. Tyto údaje jsou často udávány nepřesně a bez odkazu na způsob jejich zjištění. Jmenovitý dojezd a spotřeba se měří v standardizovaných cyklech podle předepsané metodiky (nyní v Evropě WLTP). Skutečný dojezd je ovlivněn mnoha faktory, např. druhem provozu, stylem jízdy řidiče apod., a je zpravidla nižší než jmenovitý dojezd. Příklad udává tab. 4 [20]. Další výrazný vliv na dojezd má topení, viz kap. Spotřeba energie elektromobilů. Jakákoliv hodnota dojezdu bez udání podmínek měření má malý vypovídací význam.

Jak zjistil britský magazín What Car? při praktické zkoušce, reálně na jmenovitý dojezd nedosáhne ani jediný vůz ze současné nabídky elektromobilů [21]. Test probíhal v soukromém areálu na vlastní zkušební dráze dlouhé 31 km, která simuluje městskou zástavbu, okresní silnice i dálnici bez vlivu okolního provozu.

Reálné spotřeby jednotlivých vozidel jsou mezi 15 až 25 kWh/100 km (Tesla Model X ještě více) [21]. Konkrétní dojezdy jsou pak výrazně ovlivněny velikostí baterie. U baterie se obvykle udává její jmenovitá kapacita, ale důležitá je její využitelná kapacita, která je menší. Moderní lithiové baterie nelze zcela vybit, aby nedošlo k jejich poškození, řídicí systém baterie ohlásí stav nabití na nule, když v baterii zbývá ještě cca 15 až 20 % energie, a další vybití již nepřipustí.

Budeme-li požadovat reálný dojezd 300 km, což je v současné době dostupná hodnota a odpovídá zhruba polovině dojezdu automobilu na jedno natankování, pak musí být:

- při spotřebě 15 kWh/100 km, využitelná kapacita baterie = 45 kWh, potřebná jmenovitá kapacita = cca 55 kWh;



▲ Obr. 10 Mezinárodní srovnání emisních faktorů CO₂ pro elektrickou energii z roku 2015

- při spotřebě 25 kWh/100 km, využitelná kapacita baterie = 75 kWh, potřebná jmenovitá kapacita = cca 90 kWh.

Většina současných elektromobilů takto velké baterie nemá. Nejvyšší reálný dojezd 417 km podle výše uvedeného testu [21] má Hyundai Kona Electric, a to s kapacitou baterie 64 kWh.

Dobíjení

Obecně lze možnosti dobíjení baterií rozdělit do tří kategorií:

- rychlé dobíjení;
- pomalé dobíjení;
- dobíjení rekuperací.

Rychlé dobíjení probíhá stejným proudem u veřejné rychlodobíjecí stanice nebo u pouličního dobíjecího stojanu a v závislosti na typu může být v širokém rozsahu výkonů cca od 20 kW do 350 kW. Na výkonu dobíjecí stanice závisí čas dobíjení. Avšak s rostoucím výkonem roste dobíjecí proud, tím výrazně rostou ztráty a ztrátová energie se mění na teplo. Navíc je třeba si uvědomit, že rychlonabíjecí stanice zpravidla končí nabíjení při 80 % stavu nabití baterie. Příčinou je výrazně rostoucí odpor při stavu nabití baterie blížící se 100 %, který zvyšuje ztráty při dobíjení a výrazně prodlužuje čas do plného nabití. Pokud jsou tedy vozidla závislá na dobíjení v rychlodobíjecích stanicích, při dobíjení do 80 % kapacity baterie se jejich dojezd snižuje na cca 3/4, nebo potřebná velikost baterií musí být o 20 % vyšší. S velikostí baterie ovšem roste i její váha a cena.

Pomalé dobíjení probíhá střídavým proudem z běžné zásuvky, třífázové zásuvky nebo nástěnné dobíječky, tzv. wallboxu. Vlastní dobíječka je ve vozidle a mění střídavý proud na stejnosměrný, kterým dobíjí baterii. Dobíjecí výkon je však vždy omezen výkonem dobíječky ve vozidle. Malým výkonem je možné dobíjení až do 100 % kapacity baterie bez výrazného prodloužení poslední fáze dobíjení.

Rekuperací se dobíjí každý elektromobil automaticky při zpomalování a brzdění. V některých případech lze úroveň rekuperace (a tím zpomalování rychlosti jízdy) nastavit na více úrovní. V žádném případě

| Jmenovitý dojezd | Dojezd ve městě | Dojezd na dálnici | Dojezd v zimě bez topení -3 °C, sníh na silnici |
|------------------|-----------------|-------------------|--|
| 200 km | cca 150 km | cca 130 km | cca 100 km |

▲ Tab. 4 Příklad běžných dojezdů elektromobilem VW Golf první generace [20]

však nelze rekuperaci vrátit do baterie celou energii, která byla použita pro rozjezd vozidla.

Samostatnou otázkou, přesahující rozsah tohoto článku, je zajištění bezpečnosti při manipulaci s vysokým napětím při případné poruše nebo při vzniku požáru baterie, zejména v podzemních garážích.

Modelový příklad 1 – byt nebo rodinný dům

Je-li v blízkosti parkovacího místa elektromobilu běžná elektrická zásuvka, lze z ní dobíjet kterýkoliv elektromobil. V bytech je rozvod střídavého proudu 230 V a hlavní bytový přívod je obvykle jištěn buď jednofázovým jističem 25 A, nebo třífázovým jističem 20 A. Jednotlivé bytové zásuvkové okruhy jsou jištěny v obou případech obvykle jističi 16 A. Z toho vyplývá, že pro dobíjení ze zásuvky lze použít maximálně výkon 3,7 kW, pokud není na stejném okruhu zároveň využíván jiný spotřebič s velkým příkonem – např. pračka, trouba nebo rychlovarná konvice, jinak hrozí vypadnutí jističe. Dobíjecí čas z nuly na 100 % při výše uvedených využitelných kapacitách baterie 45 kWh a 75 kWh by byl minimálně 12,2 až 20,3 hodin. Pokud bychom chtěli dosáhnout kratšího času, je nutné použít třífázový rozvod elektrického proudu, což v řadě případů znamená podstatný zásah do elektroinstalace domu. Pak je možné použít např. wallbox s výkonem 11 kW a proudem 16 A, což zkrátí nabíjecí časy na 4,1 až 6,8 hod. nebo wallbox s výkonem 22 kW a proudem 32 A, kdy budou dobíjecí časy poloviční, tj. 2,1 až 3,4 hod.

Přes relativně dlouhé časy, které lze využít zejména v noci, by měl být tento způsob dobíjení používán přednostně všude, kde je to možné, neboť je nejlevnější jak z hlediska nákladů na elektřinu, tak i nákladů na potřebné investice. Cena domácí třífázové dobíječky včetně instalace přijde na několik desítek tisíc Kč [23]. Limitem ovšem bude příkon bytu či domu, závislý na venkovní infrastruktuře (trafostanicích, kabeláži), která by při zapojení většího počtu elektromobilů v dané oblasti musela být rekonstruována!

Modelový příklad 2 – dobíjení u dobíjecí stanice

Současné čerpací stanice mají tu výhodu, že u nich lze natankovat rychle, což u dobíjecích stanic neplatí. V tomto případě již musí být použity rychlodobíječky se stejnosměrným proudem a dobíjení omezené na 80 % kapacity baterie. Standardním výkonem takové dobíječky je v současné době 50 kW. Dobíjecí čas pak bude 0,72 až 1,2 hod. I když budeme předpokládat, že k dobíjecí stanici budou přijíždět elektromobily s neúplně vybitou baterií, budou se časy dobíjení pohybovat v rozmezí 0,5 a 1 hod. Uvážíme-li, že čas tankování benzínu nebo nafty včetně zaplacení je přibližně 5 min., pak čas dobíjení elektromobilu bude 6× až 12× delší. Pokud by tedy došlo k úplné náhradě automobilů se spalovacím motorem elektromobily a tyto by byly závislé na rychlodobíjecích stanicích, pak by na místě běžné čerpací stanice s osmi výdejními místy (čtyři stojany) – pokud by měla obsloužit stejný počet vozidel – muselo být 48 až 96 dobíjecích míst, které by zabraly plochu 6 až 12 běžných čerpacích stanic plus příjezdové a obslužné plochy. Je zřejmé, že na to zejména ve městech není v okolí současných čerpacích stanic dostatek prostoru. Příkon takové dobíjecí stanice by byl bez uvažování ztrát 2,4 až 4,8 MW. Navíc vzhledem k tomu, že rychlonabíjení dobije baterie jen do 80 %, bude frekvence dobíjení ještě o cca 20 % vyšší a úměrně tomu budou potřeba vyšší počty dobíjecích míst a příkony stanic. Zmiňovaný příkon mnohostojanové dobíjecí stanice již nelze zajistit nízkonapěťovým vedením a každá taková dobíjecí stanice by musela

být připojena na vysokonapěťový rozvod elektřiny se všemi souvisejícími důsledky (přívod, trafo, požární zabezpečení, ...). Alternativou je vybavení takové stanice kapacitními akumulátory, které by se dobíjely z běžné sítě v čase mezi dobíjením jednotlivých elektromobilů. Toto řešení ovšem dává smysl jen u velmi málo zatížených stanic nebo pro období, kdy elektromobilů bude ještě málo.

Pokud bychom požadovali dojezd 600 km, srovnatelný s dojezdem běžných automobilů na plnou nádrž, byly by potřebné velikosti baterií, a tedy i dobíjecí časy, počty dobíjecích míst, potřebná plocha a celkový příkon dobíjecích stanic dvojnásobné.

Dalším problémem by bylo požární zabezpečení této stanice. Podle dostupné literatury [24] je pro uhašení případného požáru baterie potřeba až 12 000 l vody, a poté je třeba elektromobil ponořit do nádrže s vodou nebo zasypat pískem pro zamezení přístupu vzduchu a opakovaného vznícení. Znamená to, že by dobíjecí stanice musela být vybavena silným přívodem vody a požární nádrží.

V ČR je v současné době přibližně 4000 čerpacích stanic. Uvážíme-li nároky na počty dobíječek, jejich cenu, prostor potřebný pro takové dobíjecí stanice a jejich příkon, je obvyklé tvrzení, že „problém s dobíjením elektromobilů bude odstraněn, až bude dostatek rychlodobíječek“, platné jen po dobu, dokud je elektromobilů málo. Rychlodobíjecích stanic prakticky nikdy nemůže být dostatek.

Jedinou možností, jak snížit neúnosné počty dobíjecích míst, je zvýšení výkonu dobíječek. Pomineme-li zvýšené nároky na vlastnosti baterií a elektroinstalace ve vozidlech, je možnou cestou zvyšovat napětí (což má svá omezení) anebo proud. Avšak s druhou mocninou proudu rostou ztráty. Celkový příkon dobíjecí stanice se tím nesníží, ale ztráty při dobíjení vozidel výrazně vzrostou, změní se na teplo a pro vysoké dobíjecí výkony (např. 350 kW) může být ztracená energie srovnatelná s energií uloženou do baterie. Navíc bude další energie potřeba na chlazení všech částí nabíjecího řetězce. Vzniká tak paradox – čím více zkracujeme čas dobíjení, tím větší jsou ztráty, tím více elektrického proudu (o ztráty a chlazení) musíme vyrobit a tím větší jsou emise při jeho výrobě. Z ekologického i ekonomického hlediska je zkracování času dobíjení kontraproduktivní.

Modelový příklad 3 – sídliště

Jako příklad typického panelového sídliště bylo vybráno pražské sídliště Barrandov s 8489 byty a 29 700 obyvateli [25]. Při současné hustotě automobilů blížící se hodnotě 2 osoby/1 vůz bude na tomto sídlišti parkovat cca 15 000 vozidel. Budou-li to elektromobily, je nutno zajistit jejich dobíjení. Lze předpokládat, že běžně bude elektromobil parkovat na sídlišti několik hodin denně, postačí tedy malý dobíjecí výkon.

Na druhou stranu lze těžko předpokládat, že by se řidiči u dobíjecích míst pravidelně střídali, takže optimálním řešením by bylo, aby každý elektromobil měl své parkovací místo vybavené dobíječkou, tj. wallboxem nebo pouličním stojanem. Připustíme-li za vyhovující dobíjení na dojezd 300 km přes noc za 8 až 10 hod., bude s ohledem na výše uvedené výsledky potřebný výkon každé dobíječky 4,5 až 9,4 kW. Pokud by došlo k současnému zapojení všech nabíječek (např. před prodlouženým víkendem, na začátku prázdnin apod.), pak by potřebný příkon těchto dobíječek na celém sídlišti byl 67,5 až 114 MW.

Pokud bychom požadovali dobíjení na dojezd 600 km, byly by potřebné výkony dobíječek i jejich celkový příkon dvojnásobné. Kromě toho by bylo vhodné vybavit sídliště určitým počtem rychlodobíjecích stanic pro případy potřeby rychlého dobíjení vozidla.

Pro porovnání – předpokládáme-li u každého bytu jistič 25 A, je maximálně možný příkon všech bytů na sídlišti cca 49 MW. Lze předpokládat, že přibližně na tento příkon (plus odběry pro další infrastrukturu)

bude dimenzován příkon sídliště. I když lze očekávat, že ve stejnou dobu nebudou úplně všechny nabíječky zapojeny, je zřejmé, že instalaci dobíjení elektromobilů se požadovaný příkon sídliště násobně zvýší a bude nutné celou infrastrukturu elektroinstalace na sídlišti (kabeláž, rozvody v garážích apod.) rekonstruovat.

To přirozeně neplatí jen pro modelové sídliště Barrandov, ale pro jakékoli jiné sídliště nebo hustě obydlenou část města.

Ekonomické důsledky

Benzin i nafta jsou v ČR zatíženy spotřební daní, která činí u benzínu 12 840 Kč/1000 l a u nafty 10 950 Kč/1000 l [26]. Dále jsou tato paliva zdaněna 21% DPH. Vyjdeme-li

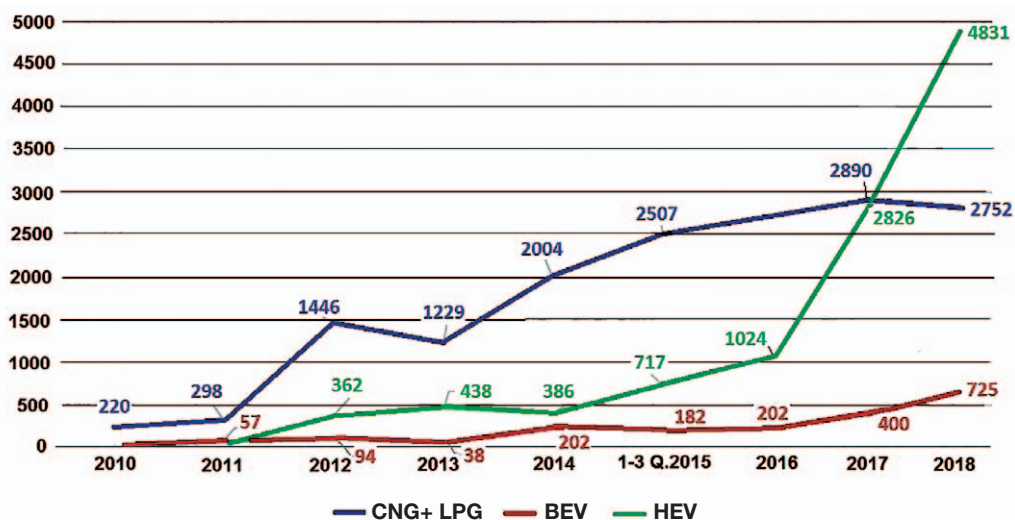
z průměrné ceny benzínu a nafty ke konci května 2019 [27], je celková daň u benzínu 18,58 Kč/l a u nafty 16,53 Kč/l. Pokud by se nezměnila daň, náhradou všech uvažovaných vozidel elektromobily by státní rozpočet přišel o částku 72 906 000 000 Kč za rok.

Elektrina je zdaněna ekologickou daní 28,30 Kč/MWh [28] a 21% DPH. Daň z elektřiny při náhradě automobilů elektromobily by při současné sazbě činila 685 000 000 Kč za rok. Rozdíl daně z paliva a daně z elektřiny představuje ztrátu v příjmech státního rozpočtu 72 221 000 000 Kč ročně. To není zanedbatelná částka a stát by musel zasáhnout, nejpravděpodobněji zdražením elektřiny pro nabíjení elektromobilů.

Jízda na elektřinu je v současné době zpravidla výrazně levnější než jízda na benzin nebo naftu, většinou však za předpokladu používání karty vybraného distributora. Nízká cena je ovšem marketingovou záležitostí, která se distributorům elektřiny při velmi malém počtu elektromobilů vyplácí. To však nemusí platit při vyšší spotřebě elektřiny, kdy již ceny budou reálné. Pro ilustraci: 20 kWh stojí u veřejného dobíjecího stojanu v Německu 5 eur, což v přepočtu při kurzu 25,86 Kč/euro ke konci května 2019 je 129,30 Kč. Tato energie v průměru stačí na cca 100 km jízdy (viz kapitola Spotřeba a dojezd elektromobilů). Také při jednorázovém nabíjení u nabíječky ČEZ (bez smlouvy s ČEZ) zaplatíte 5,95 Kč a DPH za 1 min. [38], tj. 432 Kč za hod. dobíjení. Kolik za tu dobu dobijete, záleží na výkonu nabíječky, nabíjecí soustavy vozidla a stavu nabití baterie. Podobně u Superchargeru Tesla [39] je cena 7 Kč/kWh, čili 140 Kč za 20 kWh plus 10,90 Kč za šestou a každou další minutu dobíjení! Moderní automobil splňující emise 95 g CO₂/km může mít spotřebu benzínu maximálně 4 l/100 km (jinak emisní limit nesplní), což při ceně benzínu ke stejnému datu 33,06 Kč/l je 132,24 Kč. Při vyšším zdanění elektřiny již nemusí být „tankování“ elektřiny u rychlonabíječky levnější než tankování benzínu či nafty.

Elektromobily dosud nejsou a v dohledné době zřejmě nebudou plnohodnotnou náhradou za automobily se spalovacím motorem, zejména z hlediska dojezdu, času dobíjení, dále vysoké hmotnosti, v některých případech omezení počtu sedadel na čtyři a zmenšení prostoru pro zavazadla, nevhodnosti pro použití střešního nosiče nebo tažení přívěsu a zejména z důvodu vyšší ceny. Stále se zpřísnující emisní předpisy nutí výrobce nahradit část produkce automobilů elektromobily (uvažuje se cca 15–20 %). Jejich prodej výrazně

Vývoj registrací osobních automobilů s alternativním pohonem (CNG, EV a hybridy)



▲ Obr. 11 Prodej vozidel s alternativními pohony v ČR v posledních letech [31], [32]

závisí na dotacích, neboť výrobní cena je značně ovlivněna cenou baterií, roste tedy s požadovaným dojezdem. Aby se dostatečný počet elektromobilů prodal, je nutné jejich cenu snížit dotací, a tedy deformovat tržní prostředí.

Dotace může mít a v praxi má celou řadu různých forem – od přímého peněžního příspěvku při nákupu vozidla přes nižší daně, levnější dobíjení až po různé další výhody jako vyhrazená parkoviště apod. V zemích, kde jsou dotace výrazné, z evropských států například ve Francii nebo v Německu a především v Norsku, je prodej elektromobilů relativně vysoký. V ČR mohou o dotaci žádat při splnění určitých podmínek pouze podnikatelské subjekty [30], resp. města a obce. Pro soukromé osoby kromě zvýhodněného parkování v Praze nejsou poskytovány žádné další benefity, a proto je prodej elektromobilů velmi nízký.

Pokud dotaci nezaplatí stát (a tedy daňoví poplatníci), budou ji muset nepřímou, tj. nižší prodejní cenou elektromobilů, zaplatit automobilky. Ty však musí někde získat k takovému kroku potřebné finanční prostředky. Prakticky jedinou dostupnou možností je zvýšení ceny běžných automobilů [33], [34]. To bude bohužel v nejbližších letech reálný výsledek nuceného prosazování elektromobility.

Závěr

Elektrické bateriové pohony by měly být používány tam, kde jsou jednoznačně vhodné. Je to celá řada aplikací počínaje elektrokoly, elektrickými skútry, vozidly pohyblivými se převážně po městě, jako jsou vozy městských úřadů, půjčoven a car-sharingových firem. Dále vozidla firem, která rozvázejí zboží (pečivo apod.) po městě v pravidelných trasách, vozidla různých městských služeb a samozřejmě městská doprava, případně i druhý vůz v rodině, pokud bude dostupný za rozumnou cenu. Náhrada univerzálních automobilů elektromobily vynucovaná emisními předpisy se jeví poměrně snadná, dokud je jich malý počet. Při hromadném rozšíření, i v případě, že by elektromobilů byla třeba jen polovina všech automobilů, přináší řadu problémů. Čísla uvedená výše v textu jsou alarmující a v řadě případů se řešení těchto problémů dostává mimo dostupnou realitu. Jde především o zajištění potřebného množství energie i výkonu pro nabíjení těchto vozidel a počtu nabíjecích míst.



▲ Obr. 12 Elektromobily jsou vhodné především pro kratší vzdálenosti

Tato otázka se řeší v literatuře často zapojením elektromobilů do tzv. smart grids (chytrých sítí). To je však dlouhodobější záležitost vyžadující zapojení opravdu velkého počtu elektromobilů a přinášející řadu dalších problémů, jejichž řešení je mimo rozsah tohoto textu. Dobíjení elektromobilů by mělo být zajištěno především pomalým dobíjením s malým výkonem v době, kdy vozidlo stojí (v noci, na parkovišti u zaměstnavatele apod.), a nabíjecí infrastruktura by měla být budována především pro tento účel. Rychlonabíjecí stanice by měly být doplňkem na dálkových tazích a tam, kde bude obtížné infrastrukturu pro pomalé dobíjení vytvořit, např. v husté staré zástavbě. Sázka na jednu kartu, tedy na bateriové elektromobily, je riskantní. Avšak současné emisní předpisy a zejména předpisy pro budoucí roky nerespektující stav technického vývoje nutí přejít na elektromobily, anebo alespoň na plug-in hybridy. Otázkou zůstává jejich prodejnost, což ukáže čas. Logické řešení by spočívalo v diverzifikaci typů pohonů vozidel (tj. na elektřinu, tekutá paliva, hybridní pohony, CNG a v budoucnu i vodík), v závislosti na účelu použití vozidla a druhu jeho provozu. Aby celá elektromobilita vůbec dávala smysl z hlediska zlepšení životního prostředí a omezování vlivu na změny klimatu, je naprosto nezbytné, aby souběžně s ní byly budovány zdroje elektrické energie s minimálními emisemi a bez záboru zemědělské půdy, které reálně pokryjí výkon a spotřebu elektrických vozidel. ■

Poděkování

Tato práce byla zpracována s podporou Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy, programu NPU I (LO), projektu # LO1311 Rozvoj Centra vozidel udržitelné mobility) spolu s programy TAČR, NCK 1 a BETA, projekty Národního centra kompetence Josefa Božka, TN0100 0026 a Optimální využití obnovitelných paliv v dopravě, TIT SMZP 713. Za tuto podporu patří upřímné poděkování. Rovněž je vysoce oceňována spolupráce s kolegy prof. Ing. Milanem Pospíšilem, CSc., prorektorem Vysoké školy chemicko-technologické v Praze, Ing. Janem Mikulcem, CSc., z ČAPPO, Mgr. Vojtěchem Mácou, PhD., a Mgr. Lukášem Rečkou z Centra životního prostředí UU v Praze.

Zdroje:

- [1] MACEK, J.; M. POSPÍŠIL, V. MÁCA, L. REČKA a J. MIKULEC et al. Program k predikci energetických spotřeb a emisí CO₂ současných a budoucích hnacích jednotek. Interní materiály k projektu TAČR BETA TITSMZP713. Praha 2019.
- [2] PELIKÁN, L. a M. BRICH. Zpracování databáze aktivních dat a emisních faktorů ve struktuře COPERT 5 v letech 2010–2016. Interní zpráva CDV Brno 2018.
- [3] International Council on Clean Transportation: EUROPEAN VEHICLE MARKET STATISTICS, Pocketbook 2018/19. Dostupné z: <http://eupocketbook.theicct.org>.
- [4] ČAPPO: Výroční zpráva 2016. Dostupné z: <https://www.cappo.cz/prilohyarchiv/r220/V%C3%BDro%C4%8Dn%C3%AD%20zpr%C3%A1va%202016.pdf>.

- [5] JATO Dynamics: CO₂ emissions rise to highest average since 2014, as the shift from diesel to gasoline continues. Dostupné z: <https://www.jato.com/co2-emissions-rise-to-highest-average-since-2014-as-the-shift-from-diesel-to-gasoline-continues/>.
- [6] Ricardo. Low CO₂ Automotive technology. Dostupné z: <https://studylib.net/doc/18149294/low-co2-automotive-technology>.
- [7] Proč elektromobil? Asociace pro elektromobilitu České republiky. Dostupné z: <http://www.elektromobily-os.cz/proc-elektromobil>.
- [8] Energysage: Electric vehicles & the environment. Last updated 5/1/2019. Dostupné z: <https://www.energysage.com/electric-vehicles/advantages-of-evs/evs-environmental-impact/>.
- [9] LIU, K. and J. DROBNIK. Challenges, Opportunities and Future of Electric Vehicles European Electric Vehicle Congress, Brussels 2011.
- [10] ElektrickéVozy.cz (6. 4. 2017) L. Srb: Jaká je reálná spotřeba elektromobilů? Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/jaka-je-realna-spotreba-elektromobilu>.
- [11] Stromverbrauch: Nissan-Leaf-Lea-Spritmonitor.de: Fahrzeug 774923. Dostupné z: <https://www.spritmonitor.de/de/detailansicht/774923.html>.
- [12] Český hydrometeorologický ústav: historická data: územní teploty. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>.
- [13] DIVIŠ, T. Analýza důsledků elektrifikace pohonu osobních automobilů s benzinovým motorem. Bakalářská práce, ČVUT 2018.
- [14] Wikipedie: Jaderná elektrárna Temelín: Výrobní ukazatele. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Jadern%C3%A1_elektr%C3%A1rna_Temel%C3%ADn.
- [15] Energetický regulační úřad: Roční zpráva o provozu ES ČR 2016. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2016.pdf/800e5a09-a58a-4a73-913f-abc30cda42a5.
- [16] Eldaco: Větrná elektrárna Lipná. Dostupné z: <http://www.eldaco.cz/files/images/file/lipna.pdf>.
- [17] Solární fotovoltaické panely. Dostupné z: <http://autohaida.eu/cs/76196-gwlpower-sol%C3%A1rn%C3%AD-panel-gwlsunny-poly-270wp-60-cells-mppt-32v.html>.
- [18] Ekoblog.cz. Spočítejte si, kolik emisí CO₂ vyprodukuje Vaše auto. Dostupné z: <http://www.ekoblog.cz/?q=emise>.
- [19] Tzbinfo.cz. Emise CO₂ a jejich dopad na hodnocení zdrojů v budovách. Dostupné z: <https://vytapieni.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vytapieni/17112-emise-co2-a-jejich-dopad-na-hodnoceni-zdroju-v-budovach>.
- [20] ElektrickéVozy.cz. V zimě klesá dojezd elektromobilu o cca 25 %, zn. vyzkoušeno <https://elektrickevozy.cz/clanky/v-zime-klesa-dojezd-elektromobilu-o-cca-25-zn-vyzkoušeno>.
- [21] Autoforum.cz. Britové zjistili skutečný dojezd současných elektromobilů, většinou je to mizérie. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/zajimavosti/britove-zjistili-skutecny-dojezd-soucasnych-elektromobilu-vetsinou-je-to-mizerie/>.
- [22] ANDERSON, P. The Effect of APU Characteristic on Design on Hybrid Control Strategies for HEV. SAE Paper 950493.
- [23] Auto.idnes.cz. Ministerstva spřádají plány na rozvoj elektromobilů, mají však zpoždění. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/narodni-akcni-plan-cista-mobilita.A180911_190638_automoto_fdv.
- [24] Garáž.cz: Jak se hasí elektromobil nebo hybrid? Dlouhou vodní lázní. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/jak-se-hasi-elektromobil-nebo-hybrid-dlouhou-vodni-lazni-21001439>.

- [25] Wikipedie: Barrandov. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Barrandov>.
- [26] Finance.cz. Spotřební daň – minerální olej. Dostupné z: <https://www.finance.cz/dane-a-mzda/dph-a-spotrebni-dane/spotrebni-dane/mineralni-olej/>.
- [27] mBenzin.cz. Aktuální průměrné ceny pohonných hmot v ČR. Dostupné z: <https://www.mbenzin.cz/Prumerne-ceny-benzinu>.
- [28] BusinessInfo.cz. Ekologické daně. Dostupné z: <https://www.businessinfo.cz/cs/clanky/ekologicke-dane-3532.html#elektro>.
- [29] Ministerstvo financí. Stát v roce 2018 hospodařil s přebytkem 2,9 miliardy korun. Dostupné z: <https://www.mfcr.cz/cs/aktualne/tiskove-zpravy/2019/pokladni-plneni-sr-33898>.
- [30] Naviga4. Nízkouhlíkové technologie-elektromobilita. Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost. Dostupné z: https://www.naviga4.cz/images/aktuality/PDF/N%C3%ADzkouhl%C3%ADkov%C3%A9_techologie_Elektromobilita.pdf.
- [31] Hybrid.cz. Rok 2017 v Česku: 387 prodaných elektromobilů, téměř 3000 hybridů. Dostupné z: <https://www.hybrid.cz/rok-2017-v-cesku-387-prodanych-elektromobilu-temer-3000-hybridu>.
- [32] Hybrid.cz. Rok 2018 v Česku: diesel se propadá; rekordní prodeje elektromobilů, skvěle si vedou i hybridy. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/rok-2018-v-cesku-diesel-se-propada-rekordni-prodeje-elektromobilu-skvele-si-vedou-i-hybridy>
- [33] Garáž.cz: Kvůli elektromobilům zdraží auta na benzin. Co bude dál? Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/kvuli-elektromobilum-zdrazi-auta-na-benzin-co-bude-dal-21001417?dop-ab-variant=9&seq-no=2&source=hp>.
- [34] Autobible.cz. Malá auta zdraží až o polovinu. Kvůli elektrifikaci, varuje znovu Volkswagen. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/mala-auta-zdrazi-chudsi-si-nebudou-moci-dovolit-rekl-sef-vw/>.
- [35] Svět motorů Speciál Technika 1/2019. Dostupné z: <https://svetmotoru.auto.cz/>.
- [36] Autoforum.cz. Zákazy vjezdu dieselů do Hamburku přinesly úplný opak toho, co přinést měly. Dostupné z: http://www.autoforum.cz/zajimavosti/zakazy-vjezdu-dieselu-v-hamburku-prinesly-uplno-opak-toho-co-prinest-mely/?utm_source=rss&utm_medium=direct&utm_campaign=rss.
- [37] Hospodářské noviny 17. 6. 2019: Martin Příbyl: Ekologie s otázkami.
- [38] Cena až 120 Kč za pouhou 1 kWh? Realita u dobíjecích stanic ČEZ. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/cena-az-120-kc-za-pouhou-1-kwh-realita-u-dobijecich-stanic-cez>.
- [39] Provoz vozů Tesla se prodraží. Ceny za nabíjení na Superchargerech rapidně rostou. Dostupné z: <https://www.auto.cz/provoz-vozu-tesla-se-prodrazi-ceny-za-nabijeni-na-superchargerech-rapidne-rostou-127143>.
- [40] Větrné elektrárny včera, dnes a zítra. OSEL.CZ [on-line]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/9535-vetrne-elektrarny-vcera-dnes-a-zitra.html>.
- [41] Britský gigant už je v provozu. Největší větrná farma světa by obsáhla 20 tisíc fotbalových hřišť. Česká televize [on-line]. 2019. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/svet/2587135-britsky-gigant-uz-je-v-provozu-nejvetsi-vetrna-farma-sveta-obsahla-20-tisic-fotbalovych>.
- [42] Optimální orientace a sklon fotovoltaických panelů – TZB-info. TZB-info – stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [on-line]. ©2001–2018. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/114865-optimalni-orientace-a-sklon-fotovoltaickych-panelu>.
- [43] Interrow Spacing | Home Power Magazine. Renewable Energy & Efficiency Technologies Home Power Magazine [on-line]. © 1987–2018. Dostupné z: <https://www.homepower.com/articles/solar-electricity/design-installation/interrow-spacing> a https://www.thesolarplanner.com/steps_page5b.html.
- [44] <https://www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/vystavbanovych-vodnich-elektraren-v-cr-jake-jsou-plany.aspx>

english synopsis

Certain Consequences for the Czech Republic of the Mass Expansion of Electric Vehicles

This article concerns the assessment of the global consequences for the Czech Republic of the hypothetical situation in which all cars and vans to a weight of 3.5 tons were replaced with electric vehicles in accordance with the trends of the forthcoming legislation. It analyses in detail both the energy demands of charging and the real possibilities of the available renewable and non-renewable sources of electricity, overall production of CO₂ emissions, the economic consequences for the state budget and the practical consequences for users presented against a number of specimen examples.

klíčová slova:

elektromobily, energetické nároky na dobíjení, kapacita zdrojů elektrické energie

keywords:

electric vehicles, energy demands of charging, capacity of electricity sources

inzerce

Liapor[®]mix

**LEHKÝ
BETON**

- TEPELNĚIZOLAČNÍ MATERIÁL
- NÍZKÁ OBJEMOVÁ HMOTNOST
- RYCHLESCHNOUCÍ
- NEHOŘLAVÝ A ŽÁRUVZDORNÝ
- EKOLOGICKÝ

LEHKÝ, TEPELNĚIZOLAČNÍ BETON PRO VŠESTRANNÉ POUŽITÍ



- REKONSTRUKCE PODLAH
- REALIZACE PODLAH S VYTÁPĚNÍM
- IZOLAČNÍ VRSTVY
- LEHKÉ VÝPLŇOVÉ A VYROVNÁVACÍ VRSTVY

Lias Vintřův, lehký stavební materiál, k.s.

Liapor[®]

357 35 Vintřův, tel. +420 734 355 654
e-mail: info@liapor.cz

obchod.liapor.cz