

Kurz celoživotního vzdělávání

Elektrotechnické systémy pro environmentálně příznivou dopravu

Předmět

Elektrotechnické systémy pro dopravu
v environmentálních a energetických
souvislostech

Studijní materiál

Elektromobilita v souvislostech

prof. Ing. Jaroslav Novák, CSc.

Ing. Petr Sýkora



Co je elektromobilita

Elektromobilita je pohyb vozidel pomocí elektrické energie nebo provoz dopravních prostředků s elektrickým pohonem. Pod tento pojem patří provoz hromadných dopravních prostředků, jako jsou elektrické vlaky, tramvaje, metro, trolejbusy, elektrické autobusy, elektrické lodě atd. i provoz individuálních dopravních prostředků, jako jsou elektrická auta, motocykly, skútry, lodě, letadla. Částečně pod tento pojem patří i provoz hybridních vozidel, tedy vozidel využívajících více pohonných systémů, pokud alespoň jeden z nich je elektrický.

(podle encyklopedie Wikipedia)

Cíle

- Rozvíjení mobility - součásti společenského života

Cíle

- Rozvíjení mobility - součástí společenského života
- Čistá doprava – eliminace emisí (CO_2 , NO_x , pevné částice, aromatické uhlovodíky, ...)

Cíle

- Rozvíjení mobility - součásti společenského života
- Čistá doprava – eliminace emisí (CO_2 , NO_x , pevné částice, aromatické uhlovodíky, ...)

Normální je žít v čistém prostředí:

Cíle

- Rozvíjení mobility - součástí společenského života
- Čistá doprava – eliminace emisí (CO_2 , NO_x , pevné částice, aromatické uhlovodíky, ...)

Normální je žít v čistém prostředí:

- Přestaly jezdit parní lokomotivy

Cíle

- Rozvíjení mobility - součástí společenského života
- Čistá doprava – eliminace emisí (CO_2 , NO_x , pevné částice, aromatické uhlovodíky, ...)

Normální je žít v čistém prostředí:

- Přestaly jezdit parní lokomotivy
- Výrazné snížení emisí elektráren a průmyslu, přechod na energetický mix

Cíle

- Rozvíjení mobility - součásti společenského života
- Čistá doprava – eliminace emisí (CO_2 , NO_x , pevné částice, aromatické uhlovodíky, ...)

Normální je žít v čistém prostředí:

- Přestaly jezdit parní lokomotivy
- Výrazné snížení emisí elektráren a průmyslu, přechod na energetický mix
- Omezují se emise z domácích topenišť

Cíle

- Rozvíjení mobility - součásti společenského života
- Čistá doprava – eliminace emisí (CO_2 , NO_x , pevné částice, aromatické uhlovodíky, ...)

Normální je žít v čistém prostředí:

- Přestaly jezdit parní lokomotivy
- Výrazné snížení emisí elektráren a průmyslu, přechod na energetický mix
- Omezují se emise z domácích topenišť
- Nekouří se v kancelářích a restauracích

Cíle

- Rozvíjení mobility - součástí společenského života
- Čistá doprava – eliminace emisí (CO_2 , NO_x , pevné částice, aromatické uhlovodíky, ...)

Normální je žít v čistém prostředí:

- Přestaly jezdit parní lokomotivy
- Výrazné snížení emisí elektráren a průmyslu, přechod na energetický mix
- Omezují se emise z domácích topenišť
- Nekouří se v kancelářích a restauracích
- **Zbývá doprava**

Cíle

- Rozvíjení mobility - součásti společenského života
- Čistá doprava – eliminace emisí
- Zvýšení komfortu dopravy (menší hlučnost, vibrace, lepší pohodlí a využití času)

Cíle

- Rozvíjení mobility - součásti společenského života
- Čistá doprava – eliminace emisí
- Zvýšení komfortu dopravy (menší hlučnost, vibrace, lepší pohodlí a využití času)
- Snižování závislosti na neobnovitelných energetických zdrojích (ve společensky méně příznivých oblastech)

Cíle

- Rozvíjení mobility - součásti společenského života
- Čistá doprava – eliminace emisí
- Zvýšení komfortu dopravy (menší hlučnost, vibrace, lepší pohodlí a využití času)
- Snižování závislosti na neobnovitelných energetických zdrojích (ve společensky méně příznivých oblastech)
- Snižování energetické náročnosti (doprava = 1/3 celkové spotřeby energie v ČR, podíl stále roste)

Cíle

- Rozvíjení mobility - součásti společenského života
- Čistá doprava – eliminace emisí
- Zvýšení komfortu dopravy (menší hlučnost, vibrace, lepší pohodlí a využití času)
- Snižování závislosti na neobnovitelných energetických zdrojích (ve společensky méně příznivých oblastech)
- Snižování energetické náročnosti (doprava = 1/3 celkové spotřeby energie v ČR, podíl stále roste)
- Snížení nákladů na provoz a údržbu dopravních systémů

Cíle

- Rozvíjení mobility - součásti společenského života
- Čistá doprava – eliminace emisí
- Zvýšení komfortu dopravy (menší hlučnost, vibrace, lepší pohodlí a využití času)
- Snižování závislosti na neobnovitelných energetických zdrojích
- Snižování energetické náročnosti (doprava = 1/3 celkové spotřeby energie v ČR, podíl stále roste)
- Snížení nákladů na provoz a údržbu dopravních systémů
- Smysluplné využití dostupných finančních prostředků

Cesty k čisté mobilitě

- Používání alternativních paliv a biopaliv - účinnosti výroby bionafty pod 1%, enormní nároky na plochy, rizika propojení trhu energie a potravin

Cesty k čisté mobilitě

- Používání alternativních paliv a biopaliv - účinnosti výroby bionafty pod 1%, enormní nároky na plochy, rizika propojení trhu energie a potravin

Výpočet:

V roce 2016 v ČR 5 160 000 osobních aut

Průměrná doba jízdy osobního auta cca. 30 min/den

Průměrná vzdálenost jízdy – počítejme 50 km/den

Průměrná spotřeba osobního auta – počítejme 5l/100km

Spotřeba paliva $(5 \cdot 365 / 2) = 912 \text{ l/rok/auto} = 730 \text{ kg/rok/auto}$

200g paliva = 1 kWh, potom spotřeba 3650 kWh/rok/auto

Celkem pro 5160000 aut: $1,88 \cdot 10^{10} \text{ kWh/rok}$

Cesty k čisté mobilitě

- Používání alternativních paliv a biopaliv - účinnosti výroby bionafty pod 1%, enormní nároky na plochy, rizika propojení trhu energie a potravin

Výpočet:

Kolik by bylo třeba fotovoltaiky na $1,88 \cdot 10^{10}$ kWh/rok?

Cesty k čisté mobilitě

- Používání alternativních paliv a biopaliv - účinnosti výroby bionafty pod 1%, enormní nároky na plochy, rizika propojení trhu energie a potravin

Výpočet:

Kolik by bylo třeba fotovoltaiky na $1,88 \cdot 10^{10}$ kWh/rok?

Průměrná energie slunce v ČR: 2,88 kWh/m² /den

Při účinnosti fotovoltaiky 10% je využitelná energie:
 $0,1 \cdot 2,88 \cdot 365 = 105 \text{ kWh/m}^2 \text{ /rok}$

Pro roční spotřebu aut by bylo třeba $1,88 \cdot 10^{10} / 105 = 17904$ ha fotovoltaických panelů

Cesty k čisté mobilitě

- Používání alternativních paliv a biopaliv - účinnosti výroby bionafty pod 1%, enormní nároky na plochy, rizika propojení trhu energie a potravin

Výpočet:

Podle ČSÚ bylo v ČR v roce 2016 oseto řepkou 393000 ha orné půdy

Cesty k čisté mobilitě

- Používání alternativních paliv a biopaliv - účinnosti výroby bionafty pod 1%, enormní nároky na plochy, rizika propojení trhu energie a potravin

Výpočet:

Podle ČSÚ bylo v ČR v roce 2016 oseto řepkou 393000 ha orné půdy

Plocha fotovoltaiky pro pokrytí energetické spotřeby osobních automobilů v ČR za rok činí
 $(17904/393000)*100 =$

4,56% plochy, která je v ČR v současnosti využívána pro pěstování řepky

Cesty k čisté mobilitě

- ~~Používání alternativních paliv a biopaliv – účinnosti výroby bionafty pod 1%, enormní nároky na plochy, rizika propojení trhu energie a potravin~~

Cesty k čisté mobilitě

- ~~Používání alternativních paliv a biopaliv – účinnosti výroby bionafty pod 1%, enormní nároky na plochy, rizika propojení trhu energie a potravin~~
- CNG – neřeší emise CO₂, energetické nároky na plnění zásobníků, neřeší rekuperaci, neobnovitelnost

Cesty k čisté mobilitě

- ~~Používání alternativních paliv a biopaliv – účinnosti výroby bionafty pod 1%, enormní nároky na plochy, rizika propojení trhu energie a potravin~~
- ~~CNG – neřeší emise CO₂, energetické nároky na plnění zásobníků, neřeší rekuperaci, neobnovitelnost~~

Cesty k čisté mobilitě

- ~~Používání alternativních paliv a biopaliv – účinnosti výroby bionafty pod 1%, enormní nároky na plochy, rizika propojení trhu energie a potravin~~
- ~~CNG – neřeší emise CO₂, energetické nároky na plnění zásobníků, neřeší rekuperaci, neobnovitelnost~~
- Hybridní pohony – dočasné řešení

Cesty k čisté mobilitě

- ~~Používání alternativních paliv a biopaliv – účinnosti výroby bionafty pod 1%, enormní nároky na plochy, rizika propojení trhu energie a potravin~~
- ~~CNG – neřeší emise CO₂, energetické nároky na plnění zásobníků, neřeší rekuperaci, neobnovitelnost~~
- ~~Hybridní pohony – dočasné řešení~~

Cesty k čisté mobilitě

- ~~Používání alternativních paliv a biopaliv – účinnosti výroby bionafty pod 1%, enormní nároky na plochy, rizika propojení trhu energie a potravin~~
- ~~CNG – neřeší emise CO₂, energetické nároky na plnění zásobníků, neřeší rekuperaci, neobnovitelnost~~
- ~~Hybridní pohony – dočasné řešení~~
- Pohony s palivovými články – složitost technického řešení a nutnost výroby a skladování čistého vodíku (velké nároky na objem a hmotnost nádob pro skladování stlačeného vodíku, nemožnost regulace výkonu palivového článku)

Cesty k čisté mobilitě

- ~~Používání alternativních paliv a biopaliv – účinnosti výroby bionafty pod 1%, enormní nároky na plochy, rizika propojení trhu energie a potravin~~
- ~~CNG – neřeší emise CO₂, energetické nároky na plnění zásobníků, neřeší rekuperaci, neobnovitelnost~~
- ~~Hybridní pohony – dočasné řešení~~
- ~~Pohony s palivovými články – složitost technického řešení a nutnost skladování a výroby čistého vodíku~~

Cesty k čisté mobilitě

- ~~Používání alternativních paliv a biopaliv – účinnosti výroby bionafty pod 1%, enormní nároky na plochy, rizika propojení trhu energie a potravin~~
- ~~CNG – neřeší emise CO₂, energetické nároky na plnění zásobníků, neřeší rekuperaci, neobnovitelnost~~
- ~~Hybridní pohony – dočasné řešení~~
- ~~Pohony s palivovými články – složitost technického řešení a nutnost skladování a výroby čistého vodíku~~
- Elektrické pohony s liniovým a akumulátorovým napájením – čisté, účinné, řada způsobů výroby elektrické energie - elektromobilita

Proč elektromobilita

- Existuje řada rozmanitých způsobů výroby elektrické energie včetně výroby z obnovitelných zdrojů, není závislost výroby elektrické energie na jednom zdroji

Proč elektromobilita

- Existuje řada rozmanitých způsobů výroby elektrické energie včetně výroby z obnovitelných zdrojů, není závislost výroby elektrické energie na jednom zdroji
- Elektrické pohony pracují s vysokými účinnostmi (až přes 90%). Energetickou hospodárnost zvyšuje rekuperace

(účinnost vznětového motoru omezena fyzikálně na 35 až 40% i při neúměrném zesložitění technického řešení)

Proč elektromobilita

- Existuje řada rozmanitých způsobů výroby elektrické energie včetně výroby z obnovitelných zdrojů, není závislost výroby elektrické energie na jednom zdroji
- Elektrické pohony pracují s vysokými účinnostmi (až přes 90%). Energetickou hospodárnost zvyšuje rekuperace
- Vozidla s elektrickými pohony neprodukuje škodlivé emise a pracují s výrazně nižší hlučností

Proč elektromobilita

- Existuje řada rozmanitých způsobů výroby elektrické energie včetně výroby z obnovitelných zdrojů, není závislost výroby elektrické energie na jednom zdroji
- Elektrické pohony pracují s vysokými účinnostmi (až přes 90%). Energetickou hospodárnost zvyšuje rekuperace
- Vozidla s elektrickými pohony neprodukuje škodlivé emise a pracují s výrazně nižší hlučností
- Elektromobilita stimuluje zájem o kvalitu prostředí, ve kterém lidé žijí a celkově posiluje prestiž regionu

Problémy a „problémy“ silniční elektromobility

- „Nejsou k dispozici zdroje energie pro elektrickou dopravu.“

Problémy a „problémy“silniční elektromobility

- „Nejsou k dispozici zdroje energie pro elektrickou dopravu.“

Předchozí výpočet – pro osobní automobily je v ČR ročně třeba $1,88 \cdot 10^{10}$ kWh/rok = 18,8T Wh/rok.

V roce 2015 se z ČR vyvezlo přibližně 22TWh energie, kapacity na výrobu energie pro individuální elektromobilitu již nyní jsou.

Problémy a „problémy“silniční elektromobility

- „Nejsou k dispozici zdroje energie pro elektrickou dopravu.“

Předchozí výpočet – pro osobní automobily je v ČR ročně třeba $1,88 \cdot 10^{10}$ kWh/rok = 18,8T Wh/rok.

V roce 2015 se z ČR vyvezlo přibližně 22TWh energie, kapacity na výrobu energie pro individuální elektromobilitu již nyní jsou.

JE Temelín má instalovaný výkon 2000MW, to odpovídá roční produkci $2 \cdot 10^9 \cdot 24 \cdot 365 = 1,75 \cdot 10^{10}$ kWh/rok

Tedy hodnota srovnatelná s energií pro idiv. E-mobilitu

Problémy a „problémy“silniční elektromobility

- „Elektromobilita neřeší ekologii, elektrárenské komíny jsou výfuky elektromobilů.“

Problémy a „problémy“ silniční elektromobility

- „Elektromobilita neřeší ekologii, elektrárenské komíny jsou výfuky elektromobilů.“
1. Elektrická energie je produktem energetického mixu, v ČR v roce 2016:
 - 60% fosilní zdroje (uhlí, ropa, zemní plyn)
 - 30% jaderná energie
 - 10% obnovitelné zdroje (biomasa, fotovoltaika, větrná energie, vodní energie)

Problémy a „problémy“ silniční elektromobility

- „Elektromobilita neřeší ekologii, elektrárenské komíny jsou výfuky elektromobilů.“
1. Elektrická energie je produktem energetického mixu, v ČR v roce 2016
 2. V současnosti velmi podstatné odloučení škodlivin z exhalací tepelných elektráren



Problémy a „problémy“ silniční elektromobility

- „Elektromobilita neřeší ekologii, elektrárenské komíny jsou výfuky elektromobilů.“
1. Elektrická energie je produktem energetického mixu, v ČR v roce 2016
 2. V současnosti velmi podstatné odloučení škodlivin z exhalací tepelných elektráren
 3. Sofistikované dobíjení elektromobilů zrovnoměrní odběr energie ze sítě a tím zefektivní hospodaření s energií

Problémy a „problémy“ silniční elektromobility

- „Elektromobilita neřeší ekologii, elektrárenské komíny jsou výfuky elektromobilů.“
1. Elektrická energie je produktem energetického mixu, v ČR v roce 2016
 2. V současnosti velmi podstatné odloučení škodlivin z exhalací tepelných elektráren
 3. Sofistikované dobíjení elektromobilů zrovnoměrní odběr energie ze sítě a tím zefektivní hospodaření s energií
 4. Potenciál využití obnovitelných zdrojů
- Na zem dopadne ročně $1,5 \times 10^{18}$ kWh sluneční energie, tj. 11 500x více než spotřeba lidstva v roce 2009.

Problémy a „problémy“ silniční elektromobility

- „Elektromobilita neřeší ekologii, elektrárenské komíny jsou výfuky elektromobilů.“
1. Elektrická energie je produktem energetického mixu, v ČR v roce 2016
 2. V současnosti velmi podstatné odloučení škodlivin z exhalací tepelných elektráren
 3. Sofistikované dobíjení elektromobilů zrovnoměrní odběr energie ze sítě a tím zefektivní hospodaření s energií
 4. Potenciál využití obnovitelných zdrojů
 5. Potenciál omezení hluku z dopravy

Problémy a „problémy“ silniční elektromobility

- „Malá kapacita a dlouhý čas dobíjení akumulátorů“

Problémy a „problémy“ silniční elektromobility

- „Malá kapacita a dlouhý čas dobíjení akumulátorů“
1. Průměrná doba využití automobilu je 30 minut denně (do 50 km) - zbývá 23,5 hodiny na dobíjení s výhodnými cenami energie (chytré sítě a dobíjecí systémy)

Problémy a „problémy“ silniční elektromobility

- „Malá kapacita a dlouhý čas dobíjení akumulátorů“
 1. Průměrná doba využití automobilu je 30 minut denně - zbývá 23,5 hodiny na dobíjení s výhodnými cenami energie (chytré sítě a dobíjecí systémy)
 2. Při dlouhých cestách doba dojezdu elektromobilu v závislosti na typu a stylu jízdy 200 až 500 km, možnost rychlonabíjení v přestávkách během 15 až 30 minut, avšak za cenu 15 – 20 Kč/kWh

Problémy a „problémy“ silniční elektromobility

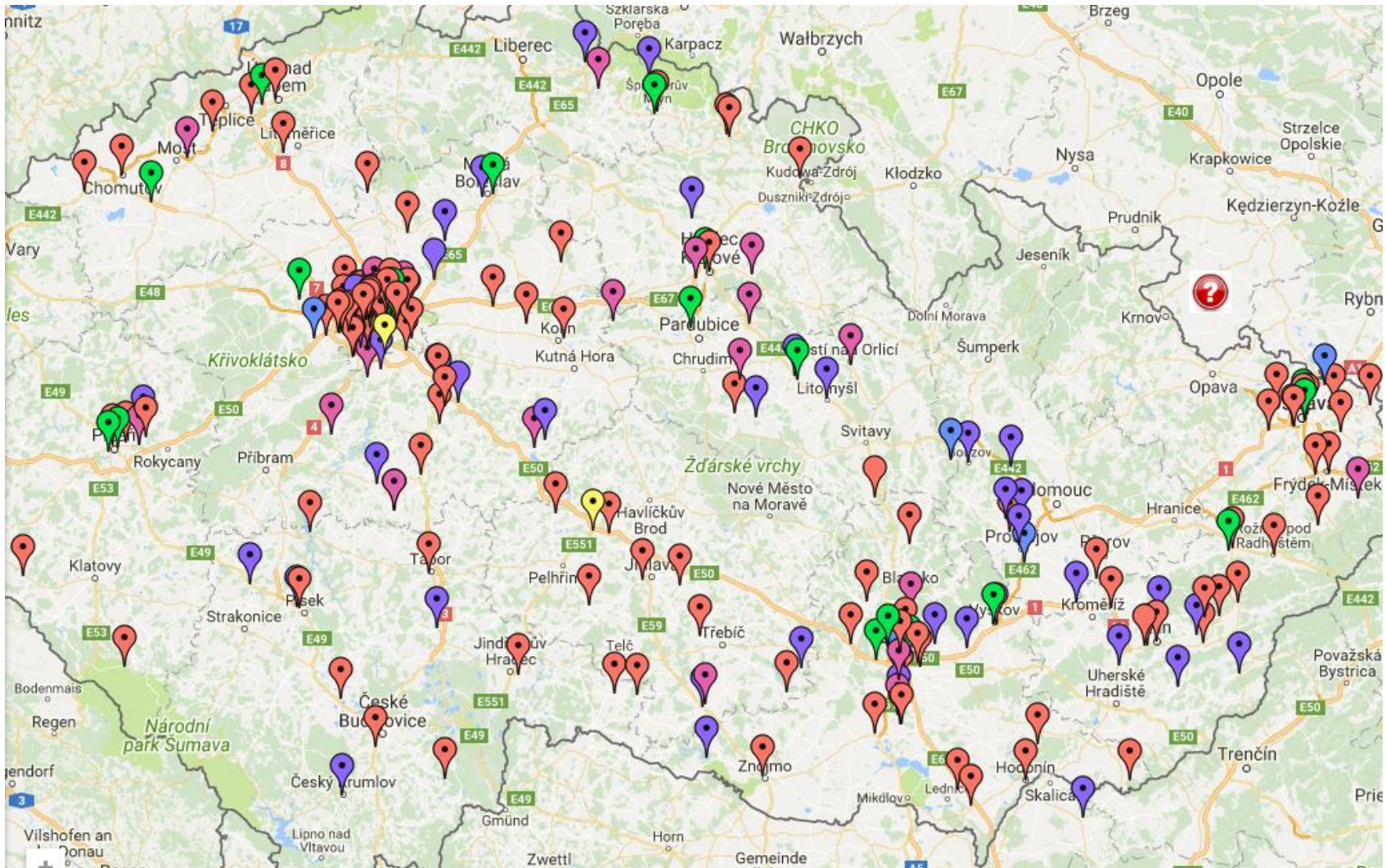
- „Malá kapacita a dlouhý čas dobíjení akumulátorů“
 1. Průměrná doba využití automobilu je 30 minut denně - zbývá 23,5 hodiny na dobíjení s výhodnými cenami energie (chytré sítě a dobíjecí systémy)
 2. Při dlouhých cestách doba dojezdu elektromobilu v závislosti na typu a stylu jízdy 200 až 500 km, možnost rychlonabíjení v přestávkách během 15 až 30 minut, avšak za cenu 15 – 20 Kč/kWh
 3. Každá technika si žádá svoje – dobíjení mobilních telefonů, notebooků, tabletů...

Problémy a „problémy“ silniční elektromobility

- „Není dostatek nabíjecích míst“

Problémy a „problémy“ silniční elektromobility

- „Není dostatek nabíjecích míst“



Problémy a „problémy“ silniční elektromobility

- „Není dostatek nabíjecích míst“
 1. Základní nabíjení domácích, chytré – není problém v případě rodinných domů
 2. Další nabíjení – zaměstnání, nákupní centra, ...
 3. Rychlonabíjení – delší cesty
 4. Sídliště – systém nabíjecích stojanů

Problémy a „problémy“ silniční elektromobility

- „Vysoká cena elektromobilu, malá návratnost investice do nové technologie“

Problémy a „problémy“ silniční elektromobility

- „Vysoká cena elekromobilu, malá návratnost investice do nové technologie“
1. Nové technologie jsou vždy drahé – pokrytí nákladů na vývoj a investice do výrobní základny
 2. Zatím malý objem výroby – vyšší cena
 3. Malá konkurence a velká poptávka
 4. V řadě zemí dotace na pořízení elektromobilu (např. Nissan Leaf ČR 900 000 Kč, USA 30 000 USD)



Problémy a „problémy“ silniční elektromobility

- **Blízká budoucnost**
- 1. Dle nařízení Evropského parlamentu a rady č. 443/2009 musí od r. 2020 nové osobní automobily plnit limit 95 g CO₂ /km (3,6 l nafty/100 km) – překročení pokutováno cca. 66 000Kč/1l/100km).

Problémy a „problémy“ silniční elektromobility

- **Blízká budoucnost**
 1. Dle nařízení Evropského parlamentu a rady č. 443/2009 musí od r. 2020 nové osobní automobily plnit limit 95 g CO₂ /km (3,6 l nafty/100 km) – překročení pokutováno cca. 66 000Kč/1l/100km).
 2. Emise CO₂ posuzovány za celou produkci, tj. bude-li firma produkovat vozidla se spotřebou 5l/100 km, nemůže jich být více, než cca. 75% produkce, zbytek bezemisní vozidla.

Strategie elektromobility

Další cesty k efektivní, čisté a komfortní dopravě – fakta:

- Při pěší chůzi nebo v prostředcích MHD stačí člověku ke komfortu méně než $0,5 \text{ m}^2$, při jízdě osobním automobilem obsazeným jedním člověkem je nárok na plochu cca. 8 m^2 , tato plocha je nutná i při stání vozidla – problémy s parkováním, dopravní komplikace
- Využití prostředků IAD je v průběhu dne malé – pomalá návratnost investice do nové technologie
- Nevyužití času při cestě IAD

Strategie elektromobility

Další cesty k efektivní, čisté a komfortní dopravě – fakta:

- Velká měrná spotřeba energie při cestě IAD:
 - osobní automobil cca. 100 - 200 Wh/t/km
 - autobus cca. 100 Wh/t/km
 - tramvaj 50 Wh/t/km
 - dálkový vlak 20 - 30 Wh/t/km
 - přínosy elektrických vozidel rekuperací (5 – 30%)

Strategie elektromobility

Selekce optimálního typu dopravního prostředku
automobil x autobus x drážní doprava – konkurence



Strategie elektromobility

Selekce optimálního typu dopravního prostředku
automobil x autobus x drážní doprava – konkurence

?NEBO?



Strategie elektromobility

Selekce nejlepšího typu dopravního prostředku
automobil x autobus x drážní doprava – konkurence
?NEBO?



Kooperace mezi jednotlivými typy dopravních prostředků

Nasazení jednotlivých typů v různých oblastech s cílem maximalizace celkového efektu – zohlednění specifik

Strategie elektromobility

~~Selekce nejlepšího typu dopravního prostředku
automobil x autobus x drážní doprava – konkurence~~



Kooperace mezi jednotlivými typy dopravních prostředků

Nasazení jednotlivých typů v různých oblastech s cílem maximalizace celkového efektu – zohlednění specifik

Systemová koncepce elektromobility!

Tříúrovňové členění dopravních prostředků a systémů elektromobility

Nejsilnější přepravní proudy:

Systemy elektrické dopravy přednostně s liniovým napájením – železnice, trolejbus



Tříúrovňové členění dopravních prostředků a systémů elektromobility

Střední přepravní proudy:

Systémy hromadné dopravy s akumulátorovým elektrickým napájením (elektrobusy, akumulátorová železniční doprava)



Tříúrovňové členění dopravních prostředků a systémů elektromobility

Slabší přepravní proudy:

Systémy individuální dopravy s akumulátorovým elektrickým napájením – nejen soukromá vozidla, ale i soustava půjčoven elektromobilů, elektroskútrů a elektrokol s využitím nabíjecích bodů i pro elektrobusy, řešení problematiky organizace půjčování dopravních prostředků pro individuální dopravu



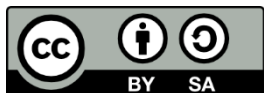
Další rozměry systémů elektromobility

- Pravidelná nákladní zásobovací doprava
- Komunální a zásahové služby, taxislužba



Vytvořeno v rámci projektu **Green Deal UPCE**, reg. č. NPO_UPCE_MSMT-2142/2024-4.

Toto dílo podléhá licenci Creative Commons BY-SA 4.0. Pro zobrazení licenčních podmínek navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU