



SIEMENS

Ing. Jiří Pohl / 15.9.2014 / Praha – Konference Čistá mobilita velkoměst

Systemové řešení elektromobility ve městech

Vývoj mobility v EU – cíle

Programový dokument EU „Bílá kniha o dopravě“ (březen 2011) má tři základní a kvantifikovatelné cíle:

1. **neomezovat, naopak rozvíjet mobilitu, neboť ta je součástí hospodářského, společenského i rodinného života,**
2. **zbavit mobilitu závislosti na kapalných uhlovodíkových palivech (zejména na ropě), která v současnosti pokrývají 96 % energie pro dopravu v EU, neboť jde o perspektivně nedostatečné, drahé a do EU importované zboží (v roce 2010 dovezla EU ropu za 210 miliard EUR),**
3. **zásadním způsobem snížit produkci CO₂ dopravou, a to ve srovnání s výchozí úrovní roku 2008 o 20 % do roku 2030 a o 70 % do roku 2050**

„Pokud se nebudeme závislostí na ropě zabývat, mohla by být schopnost občanů cestovat, jakož i naše ekonomická bezpečnost značně ohrožena a to by mohlo mít nedozírné následky na inflaci, obchodní bilanci a celkovou konkurenceschopnost ekonomiky EU.“ EU KOM (2011) 144

Vývoj mobility v EU – nástroje

Ve snaze neomezovat mobilitu ani po eskalaci cen ropy je preferována doprava v elektrické trakci.

Pro oblast městské dopravy je tento trend v Bílé knize definován zcela jednoznačně:

Z městské dopravy postupně vyloučit vozidla se spalovacími motory (prioritní orientace na hromadnou dopravu s elektrickou trakcí).

Veřejná hromadná elektromobilita

Veřejná doprava je již více než sto let nositelem elektromobility.

Uplatňuje se v mnoha formách:

- **elektrická železnice (nákladní i osobní doprava, dálková i příměstská)**
- **metro,**
- **tramvaje,**
- **trolejbusy,**
- **lanovky,**
- **lodě,**
- **eskalátory,**
- **výtahy.**

Nyní umožňuje pokrok v oblasti techniky řešit i městské elektrobusesy.

Role autobusové dopravy v MHD v ČR

V 19 velkých městech v ČR, jejichž Dopravní podniky jsou členy SDP ČR, zajišťuje povrchová elektrická vozba (metro, tramvaje a trolejbusy) 54 % přepravní nabídky (v místových kilometrech).

Zbývajících 46 % přepravní nabídky zabezpečují autobusy (rok 2012):

přepravní nabídka	12 351 000 000 místových km
dopravní výkon	151 000 000 vozových km
počet vozidel	2 865 vozů
spotřeba nafty	66 000 000 litrů/rok
náklady na naftu	1 836 000 000 Kč/rok
produkce CO ₂	174 000 000 kg/rok

Při náhradě nafty zemním plynem se produkce CO₂ snižuje jen nepatrně.

Projevuje se totiž nepříznivý vlivy náhrady vznětového motoru zážehovým a zvýšení hmotnosti vozidla zásobníky - nárůst spotřeby energie cca o 16 %.

Perspektivním řešením je převzetí autobusové dopravy vozidly elektrické trakce.

Elektrobusy jsou významným potenciálem rozvoje elektromobility a naplnění Aktualizované státní energetické koncepce ČR.

Přirozený trend posledních let: vzrůst podílu autobusů

Navzdory všeobecně respektovaným strategickým dopravním a energetickým cílům EU a ČR dochází ve městech k nárůstu autobusové dopravy a to i na úkor elektrické vozby, zejména tramvají. Růst výkonů autobusové dopravy má nežádoucí energetické a environmentální dopady.

Příčiny tohoto stavu jsou zákonité a trvalé i do budoucích let:

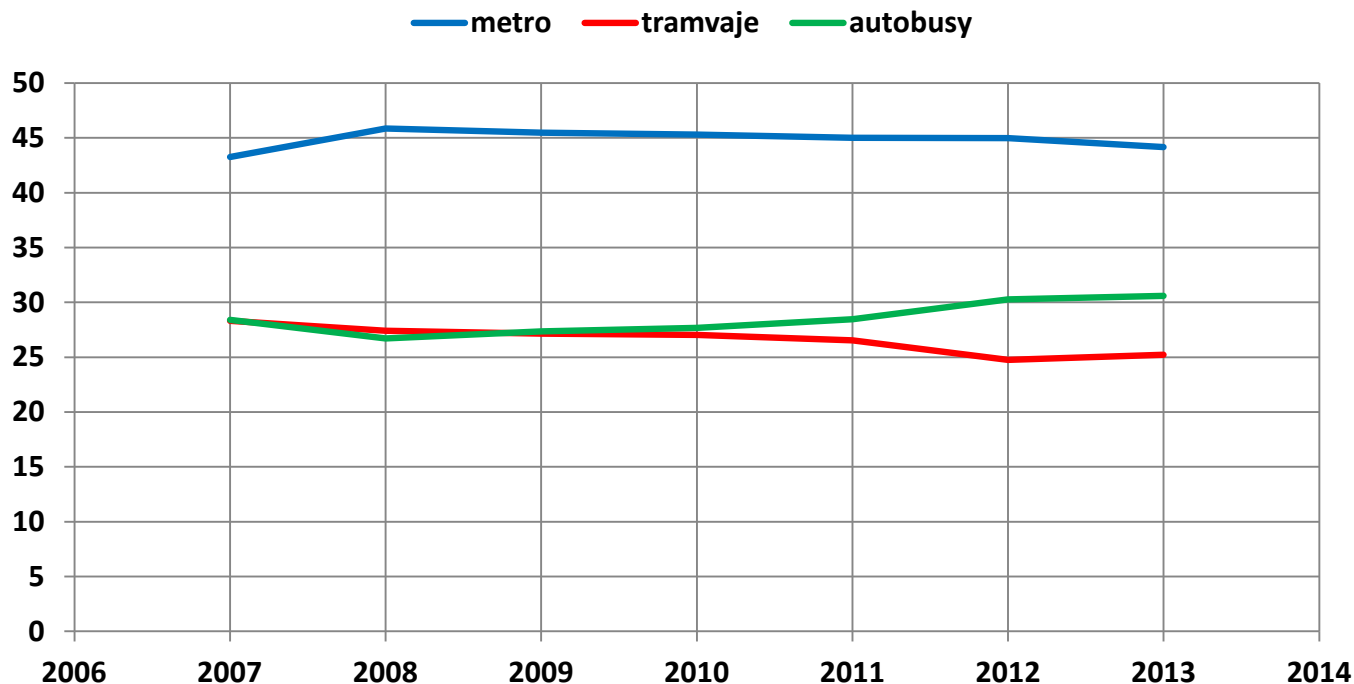
1) odklon od bydlení v mnohapodlažních domech na sídlištích k bydlení v menších domcích se zahrádkami vede k významnému snížení plošné koncentrace obyvatelstva. Do řídké obydlených oblastí se nevyplatí budovat dopravní systémy s drahou liniovou infrastrukturou, byť právě tam je tichá a čistá doprava potřebná,

2) mohutnými investicemi je řadu let systematicky budována síť kvalitních městských silničních komunikací s mimoúrovňovým křížením a s tunely, primárně určená potřebám individuální automobilové dopravy, avšak využitelná i pro městské autobusy. Autobusové linky tím získávají rychlé a přímé trasy.

Tradiční linky MHD (tramvaje) však zůstávají vedeny ve svých historických trasách úzkými ulicemi přes obtížně průjezdné křižovatky a přes centrum.

Příklad: vývoj struktury přepravy v Praze (jen město - bez vnějších pásem, všichni dopravci)

podíl jednotlivých druhů dopravy na počtu přepravených osob (%)



- v roce 2009 připadlo na 1 cestujícího v tramvaji 1,01 cestujících v autobuse
- v roce 2012 připadlo na 1 cestujícího v tramvaji 1,22 cestujících v autobuse

Městská elektromobilita

Dva základní trendy:

- kvantitativní i kvalitativní rozvoj páteřových městských systémů a linek s liniovým elektrickým napájením (elektrická železnice, metro, tramvaje, trolejbusy),
- zavedení elektrické vozby formou elektrobusů i na méně zatížené linky, na kterých se nevyplatí budovat liniovou infrastrukturu.

Tyto dva trendy mají řadu společných vazeb a synergických efektů.

Sít' městských elektrických drah s liniovým trakčním vedením může plnit nejen dopravní, ale i energetickou funkci.

Díky ní již mají města vybudovanou infrastrukturu pro nabíjení vozidel s akumulátory.



Rozvoj elektromobility v městské hromadné dopravě

Pro rozvoj měst i pro soulad cílů EU i ČR v oblasti dopravy a energetiky je potřebné zvyšovat podíl elektrické vozby.

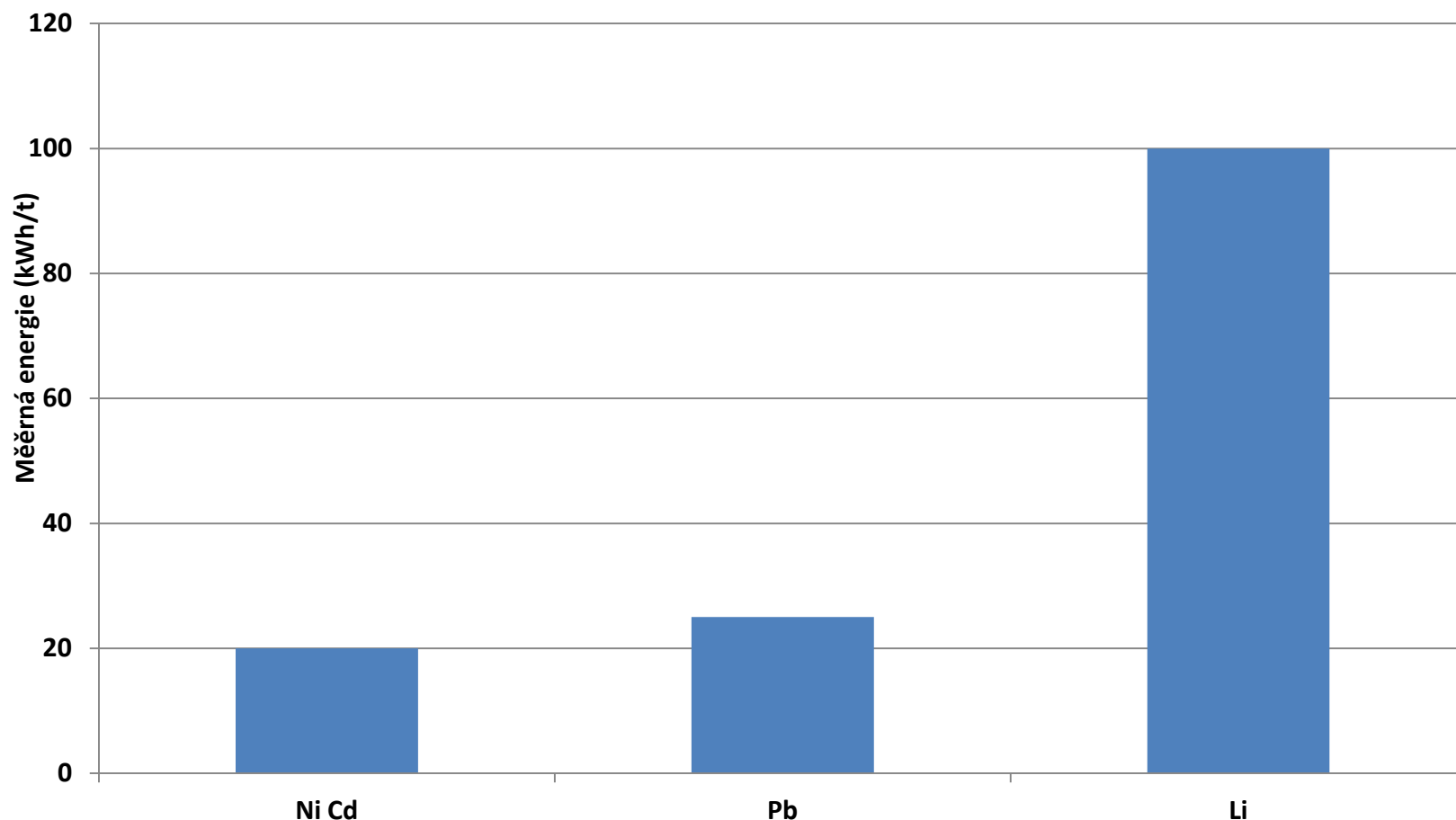
Vedle dalšího rozvoje metra, tramvají a trolejbusů, aplikovaných na páteřových tratích, je též potřebné odpoutat elektrickou trakci od liniové infrastruktury. Umožnit elektrickou vozbu i bez investičně náročného budování liniových pevných trakčních zařízení.

Převod autobusové dopravy od spalování uhlovodíkových paliv na elektřinu má více reálných podob. Moderní technická řešení již jsou k dispozici.

Významným mezníkem je možnost aplikace lithiových akumulátorů, které mají oproti doposud používaným olověným akumulátorům čtyřnásobně větší měrnou energii (100 kWh/t versus 25 kWh/t).

Lithiové akumulátory mají čtyřnásobně větší měrnou energii, než olověné

Měrná energie akumulátorů



Průběžně dobíjené elektrobusy

Současný stav techniky (lithiové akumulátory s měrnou energií 100 kWh/t) neumožňuje vytvořit bezemisní elektrobusy s dojezdem kolem 300 km, potřebným pro náhradu běžných linkových autobusů MHD v celodenním provozu. Jejich akumulátor by představoval cca 40 % hmotnosti vozidla.

Řešením jsou průběžně nabíjené elektrobusy:

- a) nabíjené na zastávkách (s kondenzátorovými zásobníky energie),**
- b) nabíjené na konečné (s elektrochemickými akumulátory).**

Nabíjení na zastávkách je vhodné pro nově budované dopravní systémy (elektrické napájení nabíjecích bodů je zřízeno v průběhu výstavby komunikace) – viz například tramvaje Katar.

Nabíjení na konečných je vhodné zejména pro již existující dopravní systémy (náhrada tradičních autobusů), u kterých není finančně reálné budovat nabíjecí body na jednotlivých zastávkách.

Vytápění elektrobuseů

S ohledem na nízkou cestovní rychlost (= dlouhá doba vytápění) a na časté otevírání dveří v zastávkách je spotřeba na vytápění významnou složkou spotřeby energie elektrobuseů.

U městských zastávkových elektrobuseů s naftovým vytápěním je spotřeba nafty pro vytápění energeticky srovnatelná se spotřebou elektřiny pro jízdu.

Podmínka nulových emisí velí nepoužívat u elektrobuseů naftové vytápěcí agregáty, ale elektrické vytápění. To však zvyšuje požadavky na velikost jmenovité energie (a tedy i hmotnosti a ceny) akumulátorové baterie.

Princip průběžného nabíjení elektrobuseů umožňuje aplikovat elektrické vytápění bez přílišného zvyšování velikosti akumulátorové baterie.

Dimenzování akumulátoru i pro pokrytí spotřeby energie elektrického vytápění jej umožňuje v letním období využívat pro napájení klimatizace.

Průběžně dobíjené elektrobusy

Časová náročnost doby průběžného nabíjení je dána poměrem nabíjecího výkonu a středního vybíjecího výkonu:

$$T_n/T = P_v / (P_n + P_v) \text{ (h/h)}$$

Typická hodnota je zhruba 25 % (například cca 15 minut z 60 minutového cyklu).

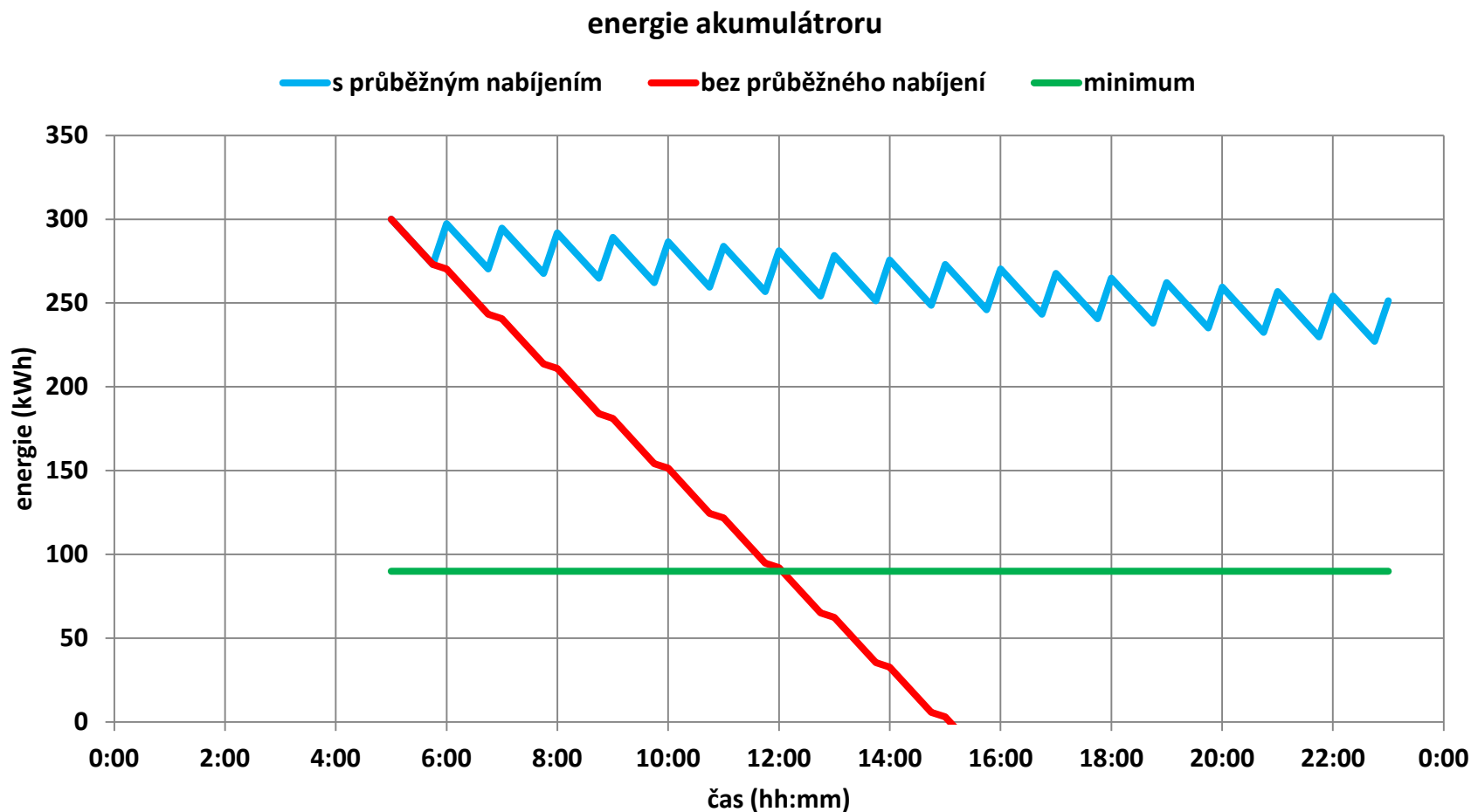
Doba potřebná pro nabíjení zpravidla nezhoršuje produktivitu provozu vozidel, neboť v městské autobusové dopravě je obvyklé, že vozidla stráví přibližně 33 % času pobytem na konečných z provozních důvodů (vyrovnání jízdního řádu, odpočinek řidiče, rezerva na nepravidelnosti).

Poměrnou dobu pobytu na konečných lze snadno zjistit z poměru oběhové a cestovní rychlosti:

$$T_k/T = (v_c - v_o) / v_c \text{ (h/h)}$$

Typicky: $T_k/T = (v_c - v_o) / v_c = (24 - 16) / 24 = 0,33$ (např. 20 minut ze 60 minut)

Průběžně dobíjené elektrobusy umožňují v daném pracovním cyklu neomezený denní proběh (v noci probíhá vyrovnávací nabíjení) – ilustrativní příklad (akumulátor cca 3 t)



Technické řešení: elektrobus s velkou akumulovanou energií

celková hmotnost (obs.)	12 000 kg
hmotnost prázdného vozidla:	8 600 kg
délka:	7,720 m
šířka:	2,200 m
výška:	3,050 m
rozvor	3,675 m
převis:	2,345 m
nejvyšší provozní rychlost	62 km/h
převážná kapacita (sedadla + stojící + osoba na vozíku + řidič)	9 + 33 + 1 + 1
dojezd:	120 – 150 km (ve městě)
typ akumulátoru:	LiFe (Lithium-železo)
energie akumulátoru:	180 kWh
klimatizace:	jen řidič, elektrická
trakční motor	třífázový asynchronní 85 / 150 kW
trakční měnič:	DC-AC IGBT Mono
doba nabíjení:	min. 2 hodiny



Technické řešení: elektrobus s průběžným nabíjením

celková hmotnost (obs.):	12 000 kg
hmotnost prázdného vozidla:	8 500 kg
délka:	7,720 m
šířka:	2,200 m
výška:	3,050 m
rozvor:	3,675 m
převis:	2,345 m
nejvyšší provozní rychlost	62 km/h
převážná kapacita:	3 + 26 + 1 + 1 (sedadla + stojící + osoba na vozíku + řidič)
dojezd:	neomezený (ve městě na určené lince)
typ akumulátoru:	LiFe (Lithium-železo)
energie akumulátoru:	96 kWh
klimatizace:	převážná kapacita, elektrická
trakční motor:	třífázový asynchronní 85 / 150 kW
trakční měnič:	DC-AC IGBT Mono
doba nabíjení:	10-15 min / 1 hodina



Průběžně dobíjené elektrobusy

Pro napájení nabíjecích míst na konečných lze použít elektrickou energii:

- a) z distribuční sítě 3 AC 400 V 50 Hz,
- b) z trakční sítě 600 V DC, respektive 750 V DC, z pevných trakčních zařízení již existující elektrické dráhy (metro, tramvaj, trolejbus).



Průběžně dobíjené elektrobusy

Pro města s již zavedenou elektrickou dráhou (metro, tramvaj, trolejbus) je výhodnější používat napájení nabíjecích míst z trakčního systému 600 V nebo 750 V DC, než napájení z nn distribuční sítě 3 AC 400 V 50 Hz, a to z více důvodů:

- levnější (zhruba poloviční) cena elektrické energie, nakupované ve velkém z vn distribuční sítě 3 AC 22 kV 50 Hz,
- možnost úspor energie využitím přebytků rekuperované brzdové energie v síti existující elektrické dráhy (dosud mařené v brzdových odporcích vozidel),
- schopnost dodávat vysoké výkony bez zesilování a prodlužování distribuční sítě,
- využití instalovaného výkonu měníren, původně dimenzovaných na provoz vozidel s nevhodnou odporovým řízením, nyní (po příchodu moderních vozidel s pulsním řízením a rekuperací) výkonově nevyužitých,
- nejsou nutné výkopové práce a výkup pozemků, stačí krátké vzdušné vedení,
- přirozené přestupové vazby vedou k minimální vzájemné vzdálenosti obou systémů.

Propojení dopravních a energetických sítí

Městská hromadná doprava je tvořena kombinací různých typů dopravních systémů, které plní různé úlohy:

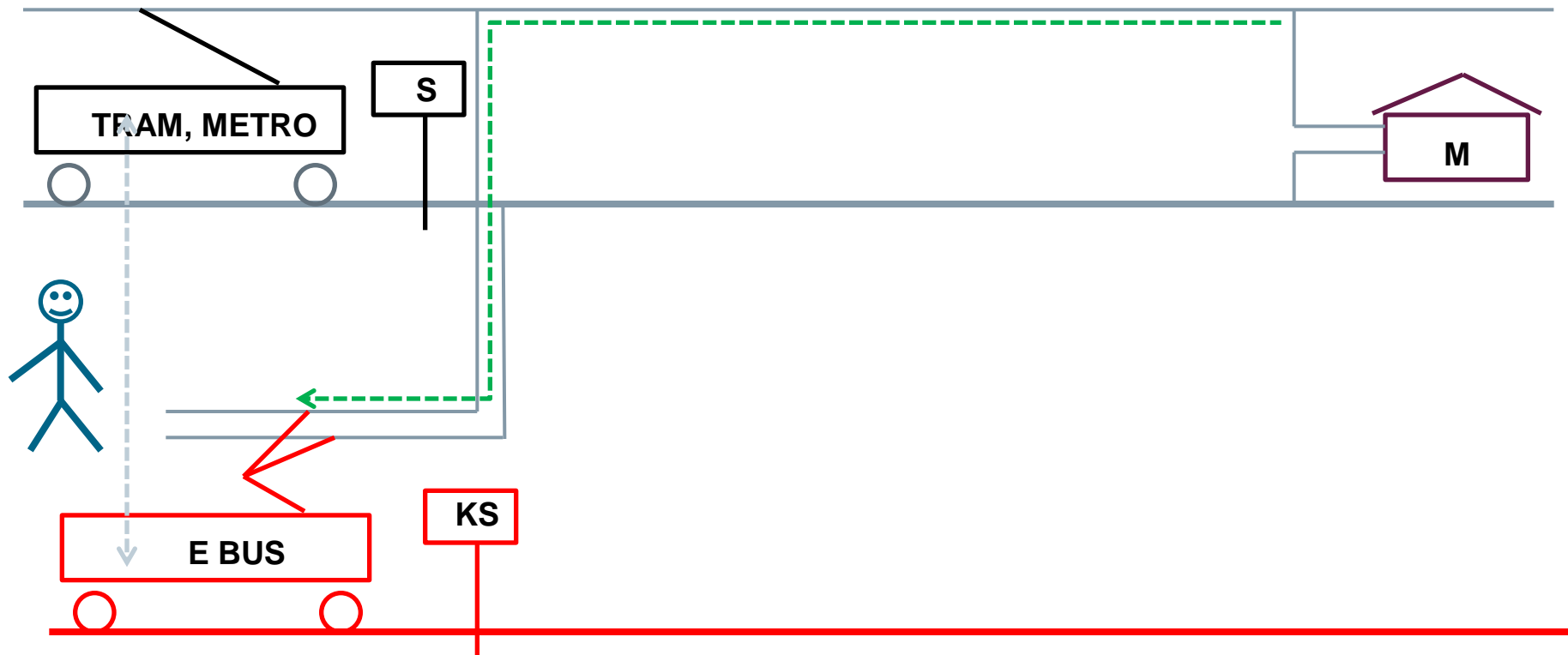
a) páteřové linky k propojení různých částí města (silné přepravní proudy, velkokapacitní vozidla, krátký interval, stálá trasa – vhodné pro liniové elektrické napájení),

b) místní linky k plošné obsluze území (slabší přepravní proudy, menší vozidla, delší interval, flexibilní trasa – nevyplatí se budovat liniové elektrické napájení).

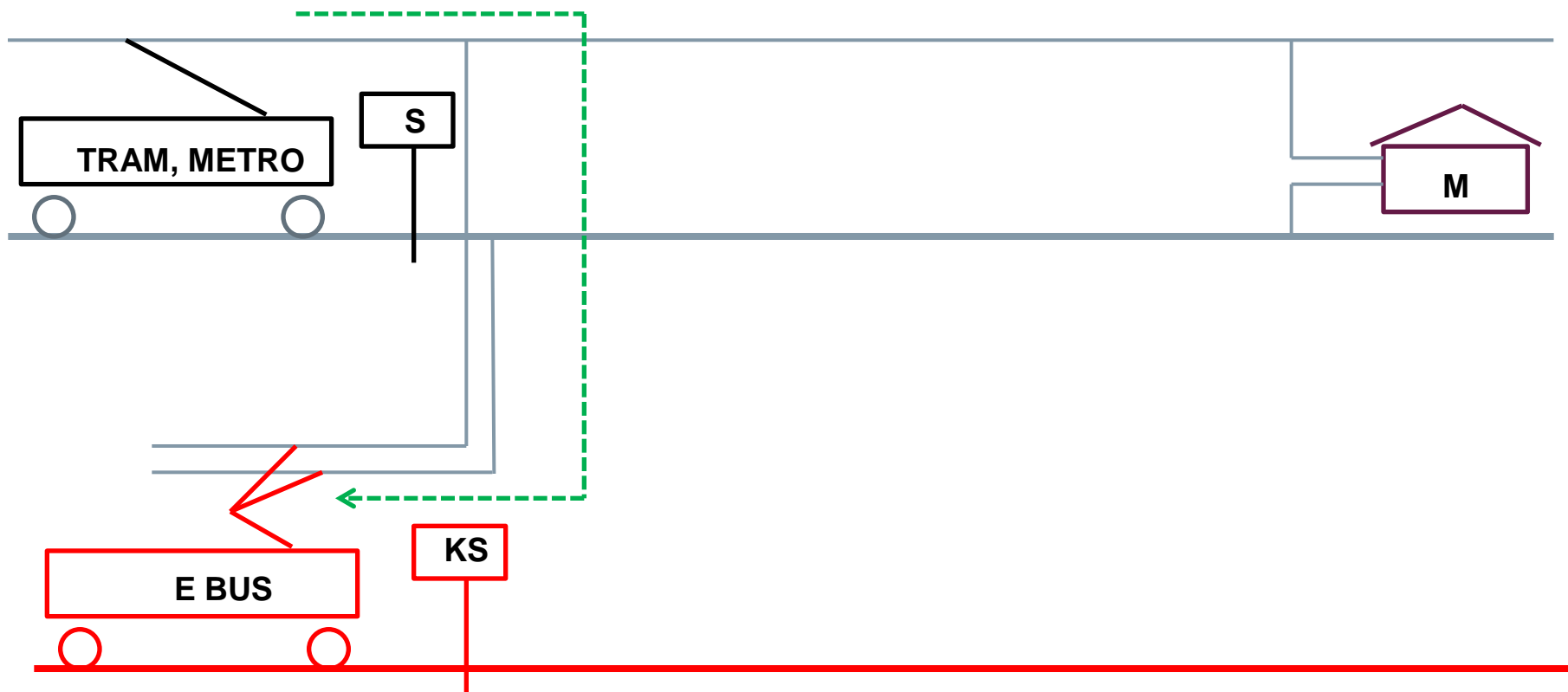
Různé dopravní systémy jsou propojeny přestupními vazbami, které jsou řešeny s cílem zajistit tarifní, časovou a prostorovou návaznost.

Tradiční prostorová návaznost páteřových a místních linek v přestupních bodech vytváří vhodné podmínky pro využití pevných trakčních zařízení již existujících páteřových linek městských elektrických drah (metro, tramvaje, trolejbusy) též k napájení nabíjecích bodů na konečných stanicích návazných místních linek (dosud autobusových).

Propojení dopravních a energetických sítí v přestupních bodech

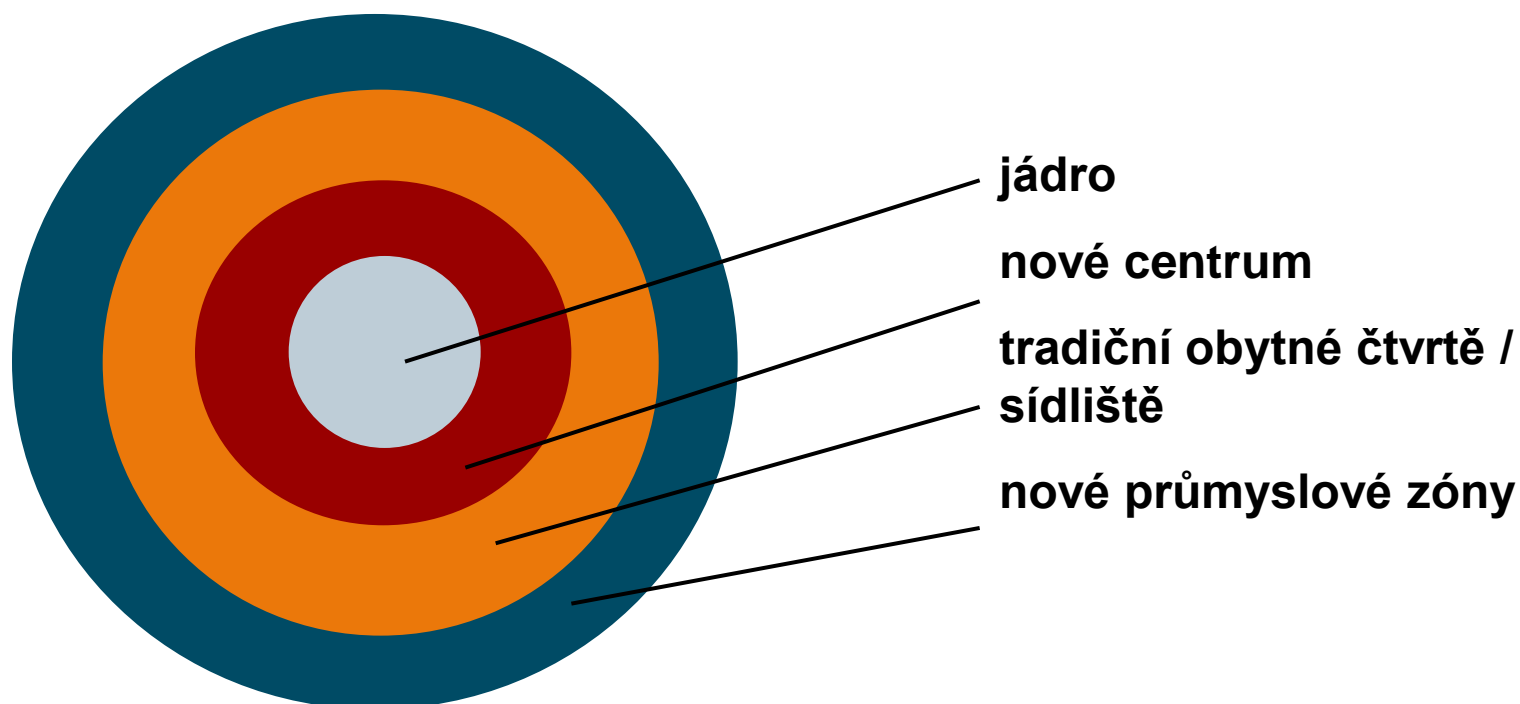


Předávání brzdové energie (dosud mařené v odporu v tramvaji)



Doprava a rozvoj měst

Nové moderní budovy nabízejí větší pohodlí a velkorysejší životní a pracovní styl. Přesouvají se do nich aktivity z centra.



Historická centra jsou krásná a památkově chráněná, ale ztrácí jiskru. Instituce i nájemníci je opouštějí do moderních budov v nových lokalitách.

Aktivní historické části měst

Základem existence a rozvoje historických částí měst je naplňování jejich hospodářské funkce: bydlení, řemesla, služby, obchod, instituce.

Jednou z nutných podmínek k tomu je doprava.

Doprava je ve všech částech města (včetně historických) důležitá pro:

- umožnění bydlení (dojíždění za prací, studiem a jinými aktivitami),**
- umožnění provozovat podnikatelské a jiné aktivity (dostupnost řemesel, obchodu, služeb, pohostinství, hotelů, a institucí jejich potenciálními klienty).**

Oživení historické části měst dopravou

Městské průběžně nabíjené midi elektrobusy:

- vhodné rozměry – úzké a krátké (průjezdnost úzkými uličkami, nízké zatížení komunikací, zejména mostů),
- tichý a čistý provoz,
- nulové exhalace (elektrické topení),
- klimatizace,
- celodenní provoz,
- využití levné elektrické energie ze stejnosměrné drážní elektrické (tramvajové) sítě,
- úspory rekuperací brzdové energie

⇒ Vhodný a perspektivní dopravní systém pro městská historická centra (a též pro další aplikace, ve kterých je potřebné tiché a čisté vozidlo s menší kapacitou a snadnou manévrovatelností: nové vilové čtvrtě, záchytná parkoviště).

Oživení historické části měst dopravou

Při záměru na zavedení autobusové linky městské hromadné dopravy přes historická centra měst dochází ke střetu názorů dvou skupin obyvatelstva:

- část obyvatelstva zřízení linky požaduje, neboť buď chtějí využívat výhod hromadné dopravy (rodiny s dětmi, starší lidé), nebo v tom vidí přínos pro své podnikání (majitelé či nájemci restaurací, hotelů, obchodů, ...),
- část obyvatelstva zřízení linky odmítá, neboť má obavy z hluku a exhalací produkovaných autobusovou dopravou.

Elektrobusy jsou řešením, vyhovujícím oběma stranám:

- dopravní obslužnost je zajištěna,
- provoz bez hluku a exhalací nepůsobí rušivě.

Shrnutí důvodů k zavedení elektrobusů

- **bezemisní tichá a čistá doprava,**
- **orientace dopravy na perspektivní a cenově energetické zdroje (elektrina),**
- **využívání levné elektrické energie**
- **zavedení elektrické vozby i na linky, na kterých se nevyplatí (nebo nelze) budovat liniové napájení (trakční vedení),**
- **využití již vybudovaného elektrického napájení tramvají a metra i pro dopravu na jiných linkách (zhodnocení již vynaložených investic),**
- **zavedení čtvrtého dopravního systému, který je kompatibilní se třemi předchozími (metro, tramvaj, autobus) a přitom je schopen pokrýt i jiný, dosud nezajistitelný účel.**

Aktuální stav

Vývoj lithiových akumulátorů a všeobecný pokrok v elektrotechnice učinily elektrobuses (s průběžným nabíjením) reálným dopravním prostředkem městské dopravy.

Růst úcty k životnímu prostředí a ke zdrojům fosilních paliv vytváří společenskou poptávku po elektrobusech.

- a) existuje řada obecných principů a podmínek, které se projevují ve všech městech,**
- b) existuje řada specifík v každém jednotlivém městě.**

Je vhodné zahájit zavádění elektrobuses do městské dopravy pilotním projektem k získání zkušeností a k předvedení jejich provozuschopnosti:

- využít obecně platné principy v podmínkách konkrétního města,**
- aplikovat elektrobuses v souladu s přepravními potřebami konkrétního města.**

Děkuji Vám za Vaši pozornost.



Ing. Jiří Pohl
Siemens, s.r.o.

Siemensova 1
155 00 Praha 13
Česká republika

siemens.cz/mobility