

Kombinace liniového a akumulátorového napájení vozidel veřejné hromadné dopravy

Jiří Pohl, Siemens, s.r.o.

Úřad vlády ČR, Praha, 22.3. 2018

Disruptivní inovace v oblasti individuální automobilové dopravy

V kontinuálně probíhající procesu inovací dochází čas od času ke skokovým změnám. Přicházejí disruptivní (přelomové) inovace které významně posouvají meze techniky vpřed:

- vznikají nové dříve neznámé produkty,
- zanikají (ztrácejí smysl) tradiční produkty,
- mají přesah do dalších oborů,
- mění životní styl lidí,
- mění kvalifikaci lidí.

Charakteristickým rysem disruptivních inovací je rychlý nástup a celosvětová působnost.

Typické příklady:

železnice, elektřina, letadla, tranzistor, televizor, počítače, internet, ...

Vše nasvědčuje tomu, že přichází disruptivní inovace v oboru individuální automobilové dopravy:

- 1) automobily nebudou poháněny uhlovodíkovými palivy, ale elektřinou,
- 2) lidé budou automobily jezdit, ale nebudou je řídit,
- 3) lidé budou automobily využívat, ale nebudou je vlastnit.

1) náhrada spalovacích motorů elektrickými

Motivace:

- nízká účinnost Carnotova cyklu (2/3 energie paliva se mění ve ztrátové teplo) je příčinou vysoké energetické náročnosti,
- spalování fosilních paliv způsobuje vysokou produkci oxidu uhličitého (CO₂) a tím nevratné změny klimatu (růst střední teploty Země, vysoká četnost extrémních výkyvů počasí),
- jedovaté zplodiny hoření, zejména oxid dusičitý (NO₂), jemné prachové částice (PM 2,5; PM 1) a polyaromatické uhlovodíky (PAH), zejména benzo(a)pyren vážně poškozují lidské zdraví v celém věkovém spektru (spermie, plod, choroby dětí, nemocnost dospělých, nemoci stáří).

Cíl:

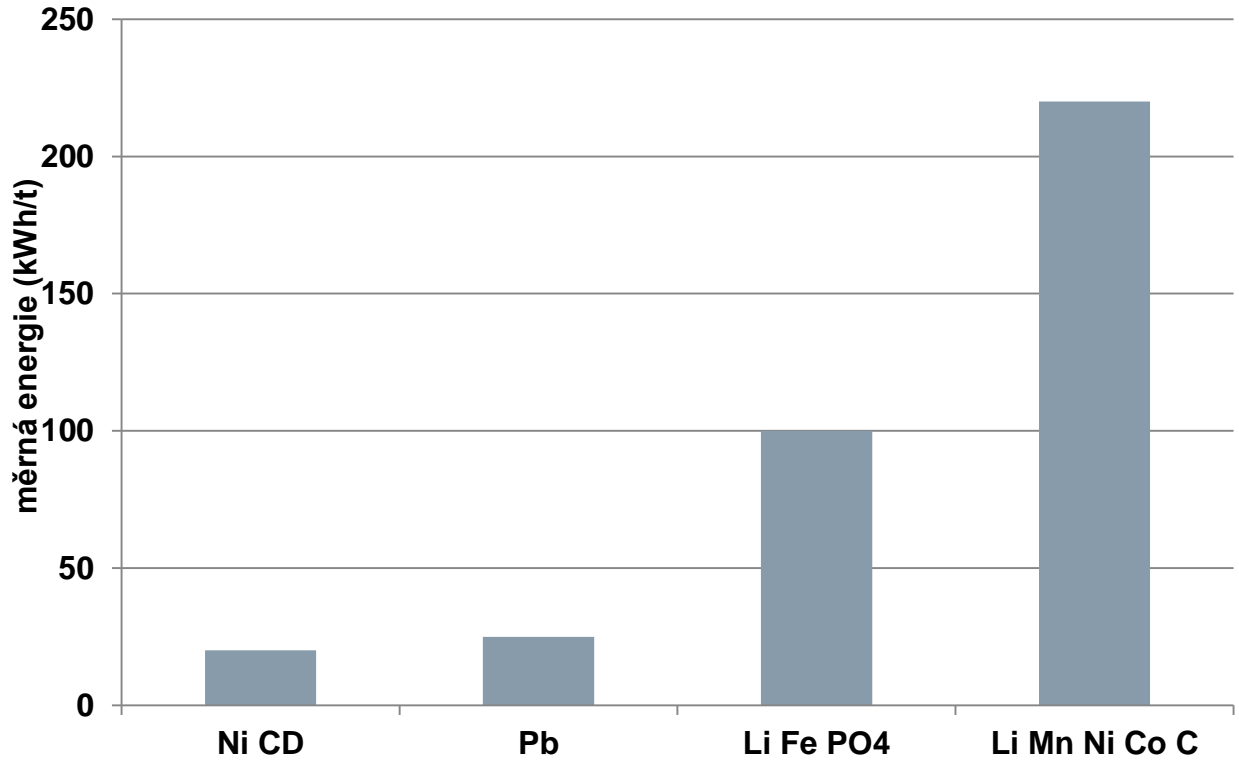
- výhradní orientace na elektrický pohon dopravních prostředků,
- výhradní orientace na obnovitelné zdroje elektrické energie.

Nástroje:

- pokrok v oblasti elektrických pohonů (synchronní trakční motory s permanentními magnety, IGBT měniče, počítačové řízení , ...),
- pokrok v oblasti elektrochemických akumulátorů (lithiové články),
- pokrok v oblasti obnovitelných zdrojů – stávají se nejlevnějším zdrojem

**Od 20. století k 21. století:
Moderní lithiové akumulátory mají osminásobně
větší měrnou energii, než olověné**

Vývoj elektrochemických akumulátorů



2) Automatické řízení vozidel

Motivace:

- osobní automobil je v ČR v průměru obsazeno 1,3 osobami. To znamená že 75 % cestujících je zaměstnáno řízením vozidla. To v ČR představuje roční ztrátu času 800 000 000 h, což je roční fond pracovní doby 400 000 osob,
- rozvoj osobní elektroniky, umožňující využívat čas strávený cestováním (train office), činí tuto nevýhodu stále významnější,
- řízení automobilů osobami je nebezpečné (vysoká nehodovost),
- neschopnost části populace (děti, senioři, nemocní, ...) řídit automobil vede k aplikaci veřejné hromadné dopravy i tam, kde je z důvodu slabé přepravní poptávky neefektivní-

Cíl:

- osvobodit cestující automobilem od povinnosti řídit vozidlo,
- optimalizovat plynulost dopravy koordinovaným řízením vozidel,
- zvýšit bezpečnost automobilové dopravy zákazem manuálního řízení

Nástroje:

- aplikace principů 4. průmyslové revoluce v automobilové dopravě (nejde o tvůrčí činnost, ale o rutinní činnost, a ta náleží strojům, ne lidem),
- široké uplatnění internetu věcí (komunikace mezi virtuálními dvojníky),
- využití umělé inteligence (znalost dopravních předpisů, rozhodování v náhlých situacích).

3) sdílení vozidel

Motivace:

- průměrný automobil je v ČR využíván jen 24 minut denně, respektive 150 h ročně.
- Tak nízké (1,7 %) využití investice je brzdou technických inovací (automobily stagnují),
- pracující člověk si na automobil zhruba stejně tak dlouho vydělává, jako dlouho jej využívá.
- To ve svém důsledku snižuje rychlost jízdy na polovinu,
- zaparkovaný automobil představuje nevyužitou roční mzdu.

Cíl:

- naplnění Aristotelovy myšlenky „bohatství není ve vlastnictví, ale v užití“ (nemusím vlastnit, ale užívám),
- vyšší využití kapitálu investovaného do vozidel jako nutná podmínka inovačního rozvoje,
- odstranění překážejících nevyužitých automobilů z ulic,
- smysluplné využití lidskou prací vytvořených hodnot jako protipól hromadění majetku.

Nástroje:

- pokrok v oblasti informačních technologií (automobil jako aplikace v mobilním telefonu),
- synergická efekt automatizace řízení automobilu – autonomní automobil přijede sám.

Uhlíková stopa

SIEMENS

Ingenuity for life

Kyslík (atomová hmotnost 16) je těžší, než uhlík (atomová hmotnost 12), proto je hmotnost hořením vzniklého oxidu uhličitého (CO₂) 3,67 krát vyšší, než hmotnost spáleného uhlíku (C):

$$(12 + 2 \cdot 16) / 12 = 44 / 12 = 11 / 3 = 3,67$$

Realita procesu hoření:

- **spálením jednoho litru nafty se dostává do ovzduší 2,65 kg CO₂**
- **spálením jednoho litru benzínu se dostává do ovzduší 2,46 kg CO₂**
- **spálením jednoho kg zemního plynu se dostává do ovzduší 2,79 kg CO₂**

Žádný filtr, přísada do paliva či jiná konstrukce motoru touto úměrou nezmění.

Jedinou cestou ke snížení antropogenní produkce CO₂ je spalovat méně fosilních paliv.

Jedinou cestou ke zamezení antropogenní produkce CO₂ je nespalovat žádná fosilních paliva.

Nařízení Evropského parlamentu a rady č. 443/2009

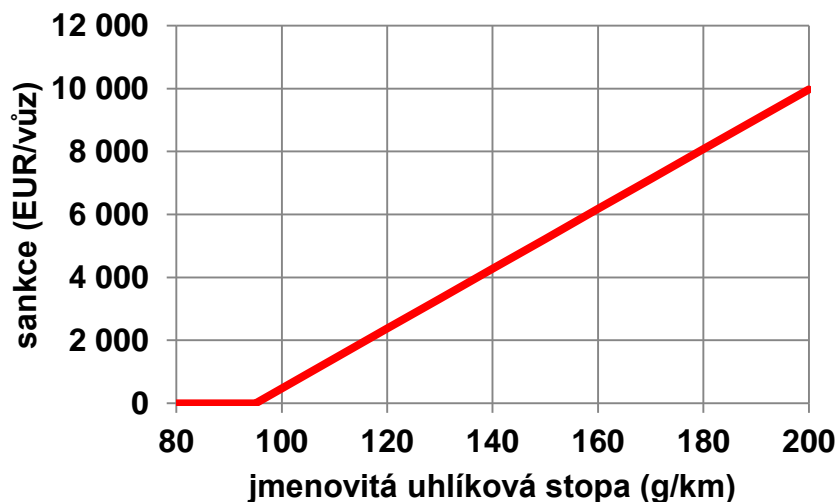
SIEMENS

Ingenuity for life

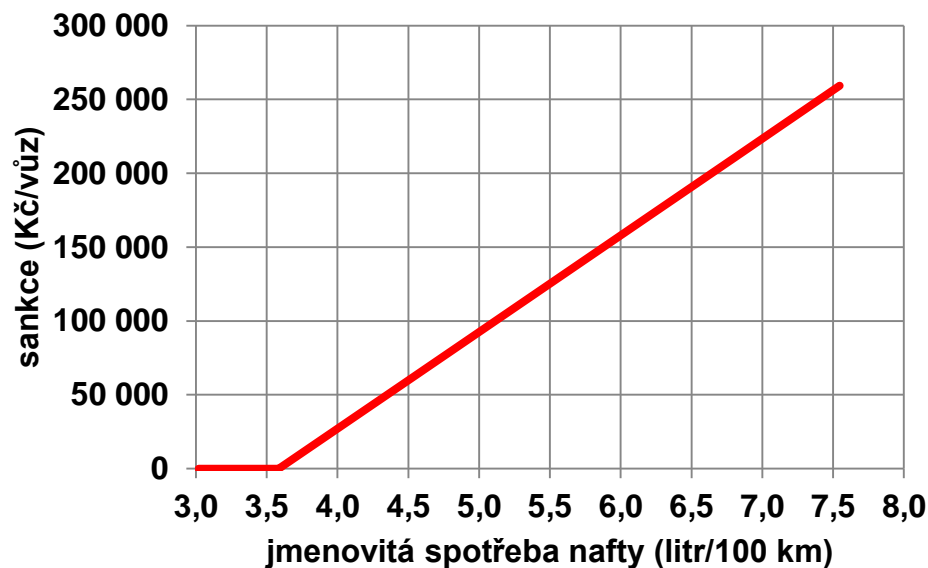
V rámci ochrany klimatu je požadováno, aby nové osobní automobily od roku 2020 plnily limit uhlíkové stopy 95 g CO₂/km, což odpovídá spotřebě nafty 3,6 litr/100 km

Při překročení této hodnoty (průměr za všechna vyráběná vozidla) bude pokutována částkou 95 EUR/g (tedy v přepočtu 66 tis, Kč za 1 litr/100 km nad limit 3,6 litr/100 km)

sankce za uhlíkovou stopu (EU 443/2009)



sankce za uhlíkovou stopu (EU 443/2009)



Nařízení Evropského parlamentu a rady č. 443/2009

Exhalace jsou hodnoceny za celou flotilu roční produkce automobilů. Aby mohly automobilky nadále vyrábět a prodávat trhem požadované automobily se spalovacími motory, překračující limit 95 g CO₂/km, musí do celkové produkce zařadit odpovídající počet bezemisních vozidel – elektromobilů.

Příklad:

Konvenční automobily se spotřebou 4,9 litr/100 km (uhlíková stopa 130 g CO₂/km) mohou tvořit jen 73 % roční produkce, zbývajících 27 % musí být elektromobily (s uhlíkovou stopou 0 g CO₂/km):

$$0,73 \cdot 130 \text{ g CO}_2/\text{km} + 0,27 \cdot 0 \text{ g CO}_2/\text{km} = 95 \text{ g CO}_2/\text{km}$$

Proto automobilky tak intenzivně pracují na vývoji elektromobilů.

Nařízení Evropského parlamentu a rady č. 443/2009

Za současného stavu techniky již je zbytečné vybavovat vozidla spalovacími motory:

- 2/3 energie paliv měnit okamžitě v nevyužité ztrátové teplo,
- způsobovat produkcí CO₂ nevrtané klimatické změny,
- poškozovat zdraví obyvatelstva jedovatými zplodinami hoření.

Pro elektrické automobily již jsou na trhu volně k dispozici:

- moderní rychloběžné trakční motory,
- moderní měničová technika,
- moderní lithiové akumulátory.

Již v roce 2016 přesáhl rozsah výroby akumulátorů pro automobily rozsah výroby akumulátorů pro osobní elektroniku (mobilní telefony, notebooky, ...).

Inovativní potenciál automobilového průmyslu je značný. Jen Škoda Auto aktuálně investuje v letech 2018 až 2022 do vývoje a výroby elektromobilů 50 miliard Kč.

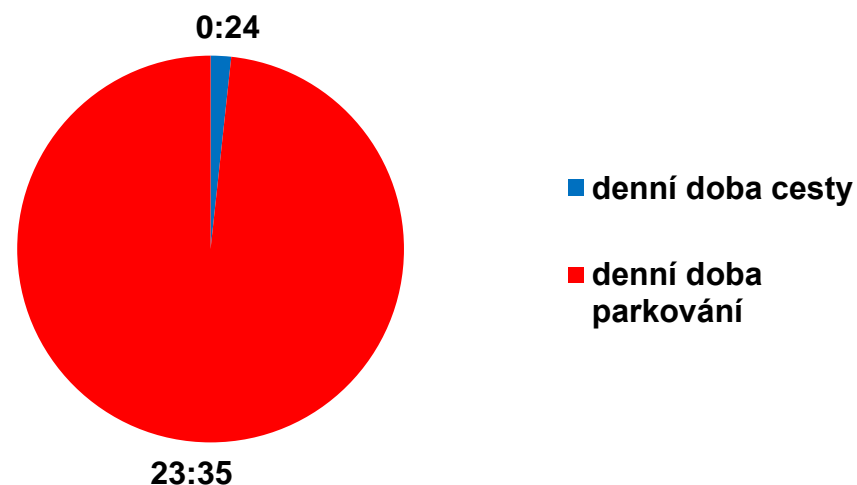
Denní režim osobního automobilu v ČR

Automobil je v ČR využíván v průměru jen 24 minut denně. Nemá smysl zdržovat jeho uživatele v této době, poškozovat akumulátor velkými proudy a zatěžovat distribuční síť špičkami příkonu nabíjením.

Je rozumnější nechat automobil, ať se v klidu levně a šetrně nabije v době parkování. Má na to denně v průměru 23 hodin a 35 minut.

počet osobních automobilů v ČR	5 308 000	vozů
roční přepravní výkon osobních automobilův ČR	72 255 000 000	os km/rok
střední obsazení osobního automobilu	1,30	os/vůz
roční běh osobního automobilu	10 471	km/rok
roční běh osobního automobilu	29	km/den
cestovní rychlost	70	km/h
denní doba cesty	0:24	hh:mm
denní doba parkování	23:35	hh:mm
využití automobilu	1,7	%
parkování automobilu	98,3	%

střední využití osobního automobilu v ČR



Nabíjení při parkování

SIEMENS

Ingenuity for life

Pro běžném užívání automobilu k nabíjení plně postačuje čas parkování.

Je smysluplné vybavit všechna (100 %) parkovací místa jednofázovou zásuvkou 230 V 16 A).

Automobil se na principu internetu věcí (Průmysl 4.0) dohodne se sítí a nakoupí svému uživateli elektřinu v době, kdy je nejlevnější.

Má na to 9 hodin pracovní doby nebo 9 hodin nočního klidu, kdy jej jeho uživatel nepotřebuje.

Na průměrnou cestu (32 km) stačí 2 hodiny, na 95 % cest (do 120 km) stačí 7 hodin.

délka cesty	km	32	120
gradient spotřeby z akumulátoru	kWh/100km	20	20
spotřeba	kWh	6	24
měrná energie akumulátoru	kWh/t	220	220
využití akumulátoru	%	80	80
potřebná hmotnost akumulátoru	kg	36	136
účinnost aku a nabíječe	%	90	90
potřebná energie k doplnění	kWh	7	27
doba k nabíjení (noční parkování)	h	9	9
střední příkon	kW	0,79	2,96
napětí	V	230	230
proud	A	3,4	12,9
jmenovitý proud zásuvky	A	16	16
jmenovitý příkon zásuvky	kW	3,68	3,68
limit poskytované energie	kWh	33	33
potřebná doba nabíjení	h	1,93	7,25
zatěžovatel zásuvky	%	21	81

Elektromobily

V ČR je používán automobil především na krátké cesty:

- průměrná přepravní vzdálenost: 32 km,**
- průměrný denní proběh: 29 km (tedy méně, než jedna jízda denně),**
- průměrné denní využití: 24 min (tedy 23 hodin a 36 minut lze využít k nabíjení),**
- cca 95 % jízd je na vzdálenost do 120 km.**

Těmto požadavkům současné elektromobily plně vyhoví.

Pro průměrný denní proběh 30 km je potřebné doplnit energii 6 kWh, což umožní i běžná zásuvka 230 V / 16 A za dvě hodiny v průběhu nočního spánku uživatele automobilu.

Stačí vybavit všechna místa, kde automobily běžně parkují (zejména po delší dobu), tedy u obytných budov, v zaměstnání, na veřejných prostranstvích obyčejnými nabíjecími zásuvkami nízkého výkonu. A ty inteligentně řídit.

a) Typický elektromobil (vlastněný řízený řidičem amatérem), používaný k dojíždění do zaměstnání (jeden cestující, ujetá dráha 2 x 10 km/den)

Denní přepravní výkon:

$$P = N \cdot L = 1 \cdot 20 = 20 \text{ os. km/den}$$

b) Typický městský elektrobus (vlastněný dopravním podnikem a řízený několika řidiči profesionály), používaný k městské dopravě (20 cestujících, ujetá dráha 200 km/den)

Denní přepravní výkon:

$$P = N \cdot L = 20 \cdot 200 = 4\,000 \text{ os. km/den}$$

c) Typická železniční elektrická regionální jednotka (vlastněná dopravcem a řízený několika strojvedoucími), používaný k regionální dopravě (40 cestujících, ujetá dráha 400 km/den)

Denní přepravní výkon:

$$P = N \cdot L = 40 \cdot 400 = 16\,000 \text{ os. km/den}$$

=> Náhrada spalovacího motoru elektrickým pohonem u autobusu nebo v železničním vozidle má o dva až tři řády vyšší přínos pro úspory energie a životního prostředí, než náhrada individuálního automobilu elektromobilem (součin vyššího počtu přepravovaných osob a vyšší denní doby používání).

Ve srovnání s individuálně vlastněnými osobními automobily jsou dopravní prostředky veřejné hromadné dopravy (autobusy, metro, tramvaje, železniční vozidla) každodenně využívány mnohonásobně delší dobu a ujedou podstatně větší vzdálenost.

Řídí je totiž nikoliv řidiči amatéři (kteří především musí pracovat), ale střídají se na nich řidiči profesionálové, pro které je řízení vozidla denní náplní.

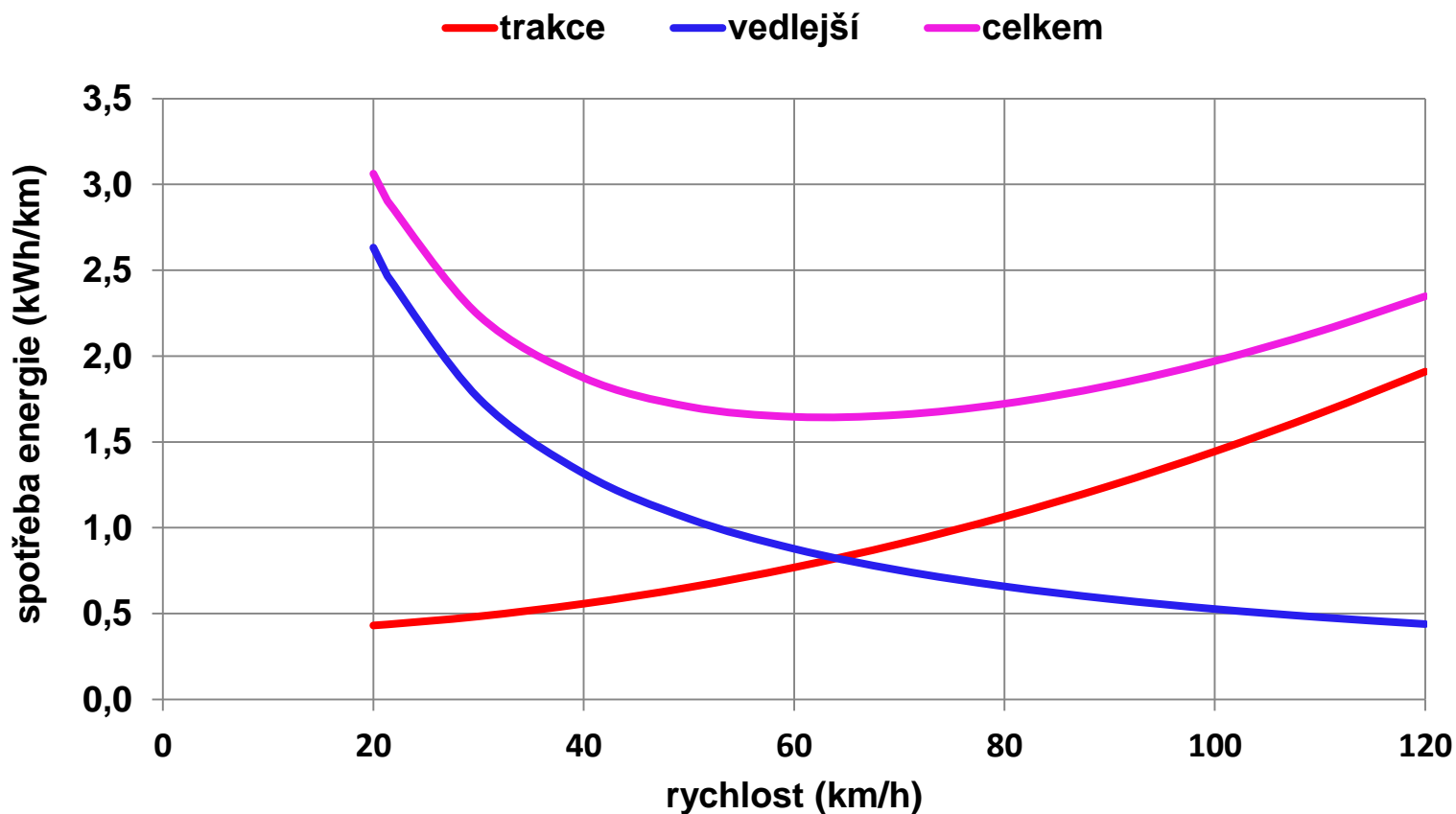
=> veřejná hromadná elektromobilita je větším přínosem pro úspory energie, ochrany klimatu a zdravého ovzduší vyšším přínosem, než individuální elektromobilita,

=> veřejná hromadná elektromobilita mnohem hospodárněji využívá investice vložené do nových technologií, než individuální elektromobilita,

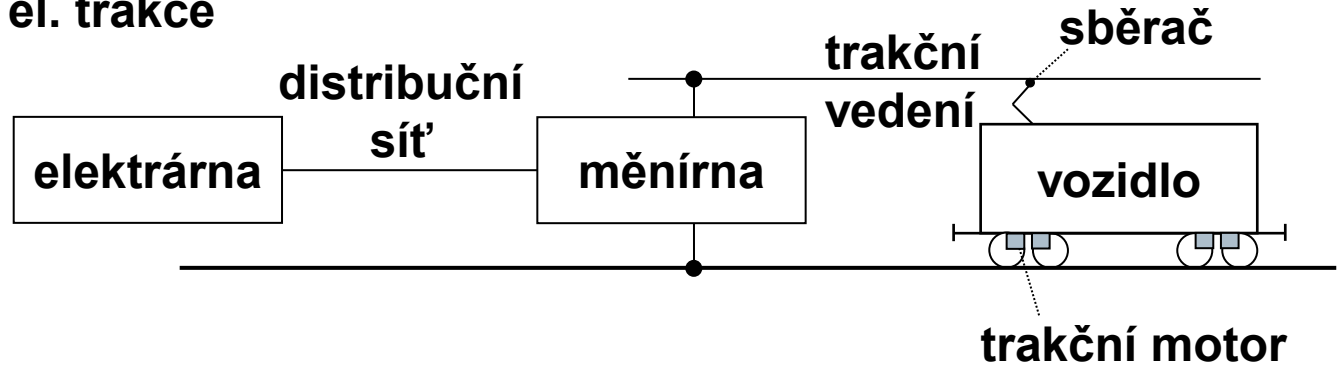
=> veřejná hromadná elektromobilita nemá čas na statické nabíjení, vozidla jsou po většinu dne v pohybu. Trendem proto je využití liniového elektrického napájení jak k pohonu vozidel, tak i k dynamickému nabíjení jejich akumulátorů.

Téma v zastávkové veřejné dopravě: velký vliv vedlejší spotřeby energie

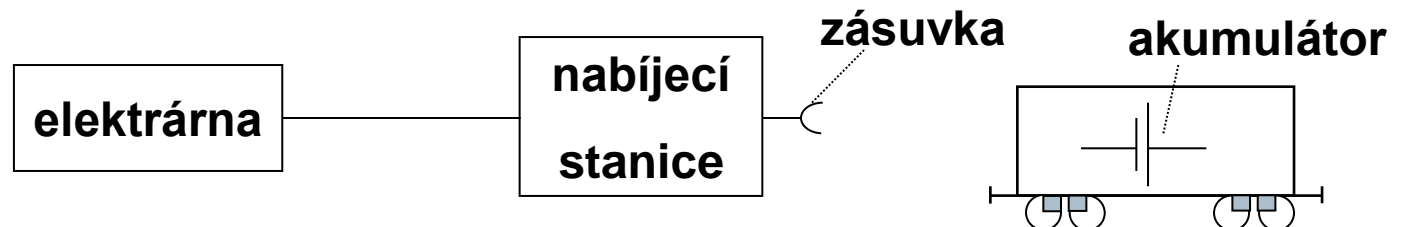
Spotřeba energie z baterie při jízdě ustálenou rychlostí na rovině



Závislá el. trakce



Polozávislá el. trakce



Závislá a polozávislá elektrická trakce

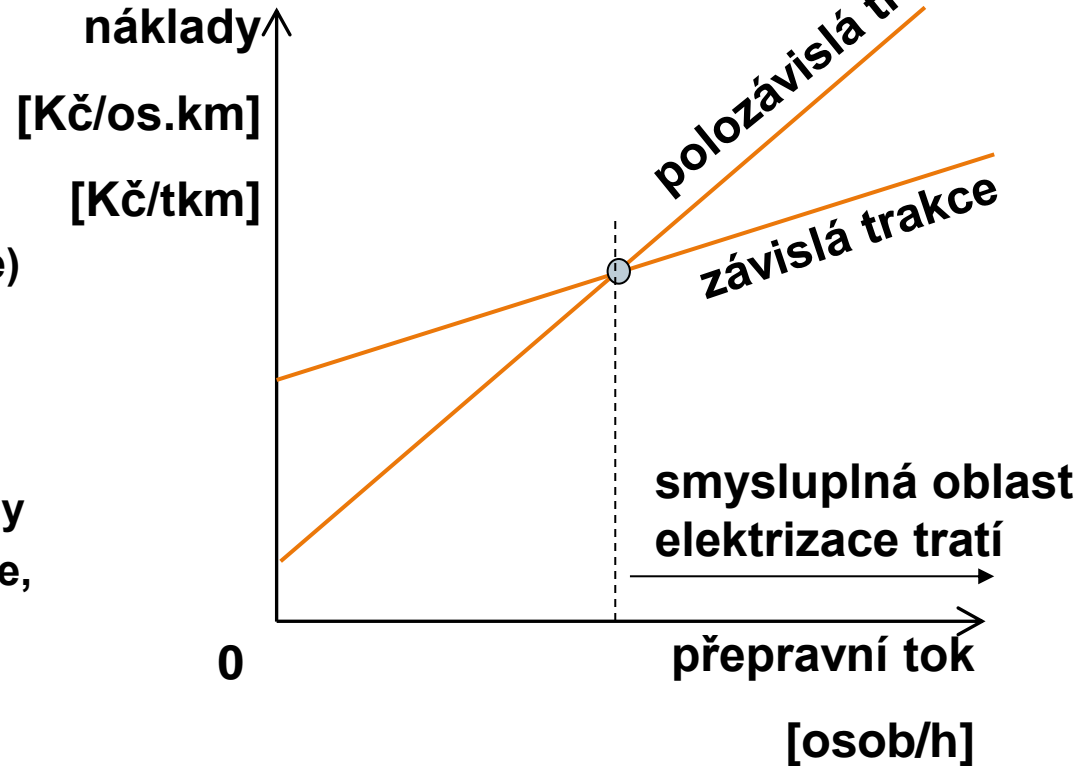
SIEMENS
Ingenuity for life

Závislá trakce

- ★ vysoké fixní náklady (pevná trakční zařízení)
- ★ nízké variabilní náklady (levná elektrická energie)

Polozávislá trakce

- ★ nízké fixní náklady
- ★ vysoké variabilní náklady (dražší elektrická energie, vliv uskladnění)



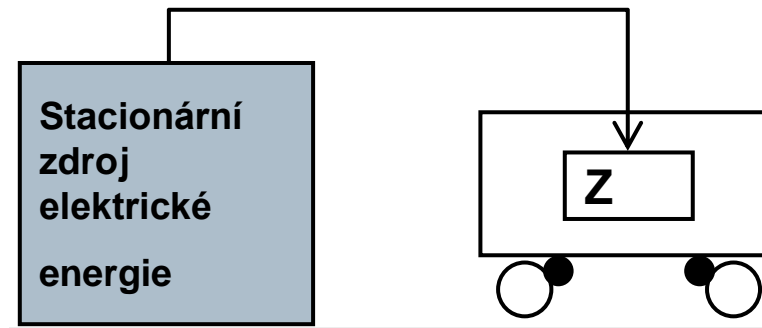
Oblasti optimálního využití:

Málo intenzivní provoz => výhodnější (levnější) je polozávislá trakce

Hodně intenzivní provoz => výhodnější (levnější) je závislá trakce

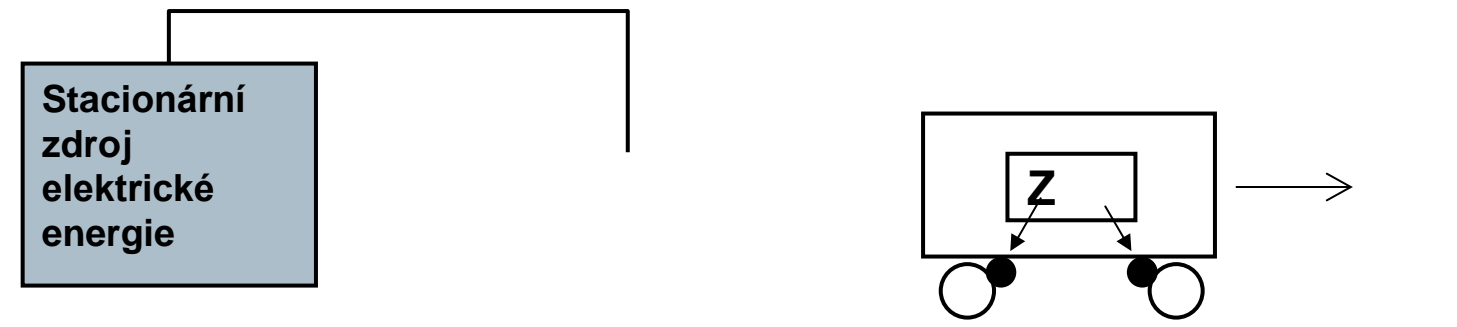
Vozidlo se zásobníkem energie

1. Fáze - nabíjení



Zásobník energie na vozidle je nabíjen ze stacionárního zařízení

2. Fáze - jízda



Pohon vozidla je napájen ze zásobníku na vozidle

Moderní akumulátorové baterie (Lithiové)

Vlastnosti (příklad):

- měrný výkon kolem 50 kW/t trvale,
- měrný výkon kolem 200 kW/t krátkodobě
- měrná energie kolem 100 kWh/t,
- čas nabití a vybití $T = A / P = 100 \text{ kWh} / 50 \text{ kW} = 2 \text{ h}$,
- účinnost 80 %,
- životnost $N = 4\,000$ cyklů.

⇒ vhodné pro zdroj energie a středního výkonu

Cena:

Přibližně 12 000 Kč/kWh

Náklady na uschování energie:

$$C = C / N = 12\,000 / 4\,000 = 3 \text{ Kč/kWh}$$

Porovnání cen elektrické energie na vozidle

Závislá trakce (trakční vedení)

$$C = c_e / \eta_{ptz} = 2,10 / 0,85 = 2,50 \text{ Kč/kWh}$$

Nezávislá trakce (naftová vozba)

$$C = c_n / (H \cdot \eta_{mg}) = 25 / (10 \cdot 0,35) = 7 \text{ Kč/kWh (plus náklady na údržbu spal. motoru)}$$

Polozávislá trakce (akumulátory)

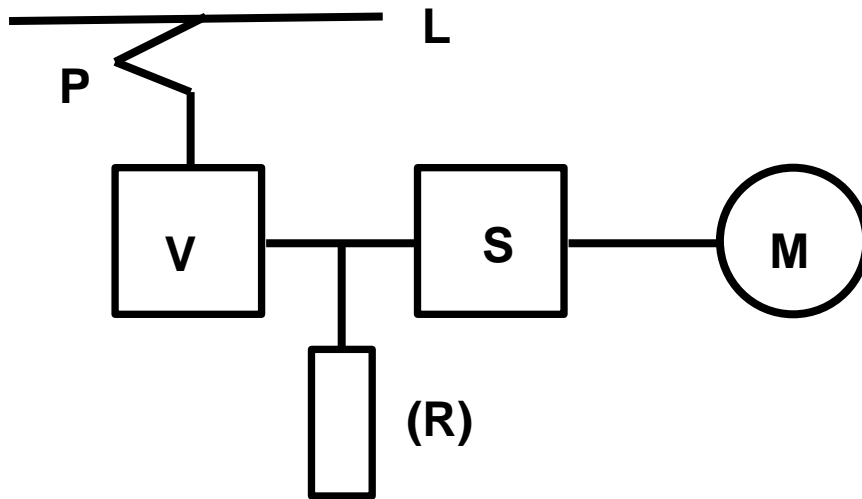
$$C = c_e / (\eta_n \cdot \eta_z) + C_z/N = 2,10 / (0,95 \cdot 0,9) + 3 = 2,50 + 3 = 5,50 \text{ Kč/kWh (bezúdržbové)}$$

Rekuperace (jinak nevyužitá)

$$C = c_e / (\eta_n \cdot \eta_z) + C_z/N = 0 / (0,95 \cdot 0,8) + 4 = 0 + 3 = 3 \text{ Kč/kWh}$$

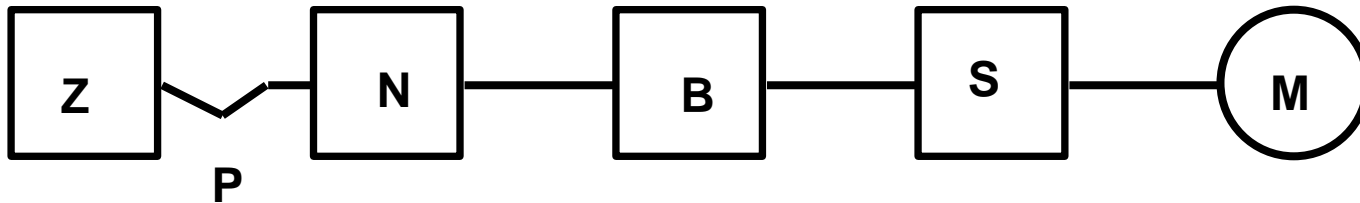
Uspořádání elektrických vozidel

Elektrické závislé vozidlo



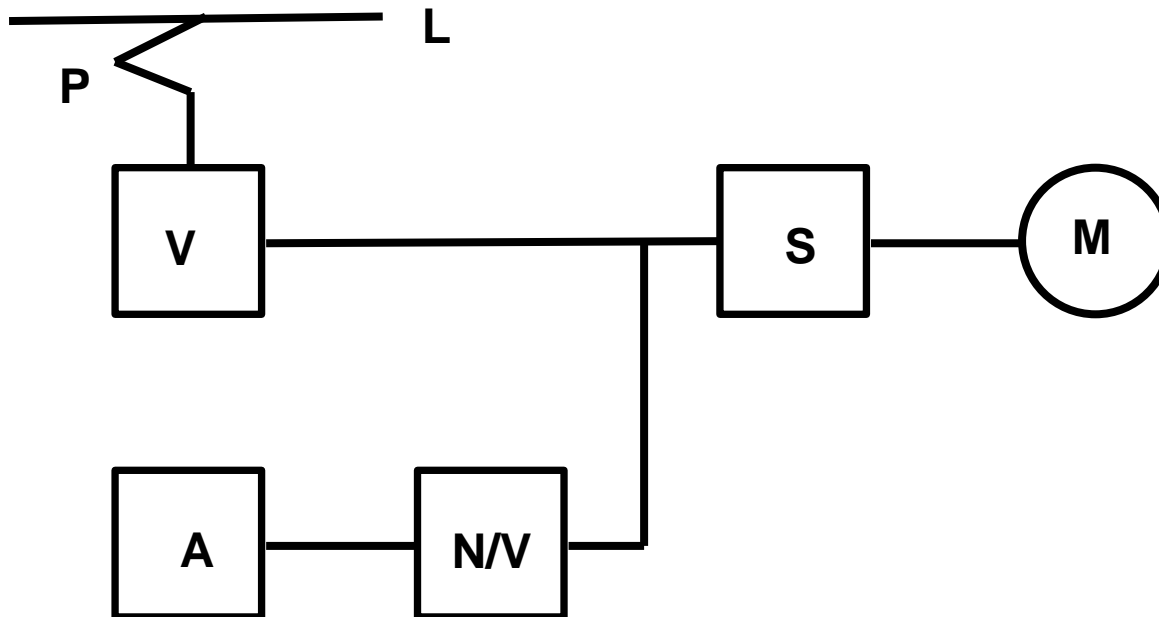
Uspořádání elektrických vozidel

Elektrické polozávislé vozidlo



Uspořádání elektrických vozidel

Elektrické závislé vozidlo s akumulátorem elektrické energie



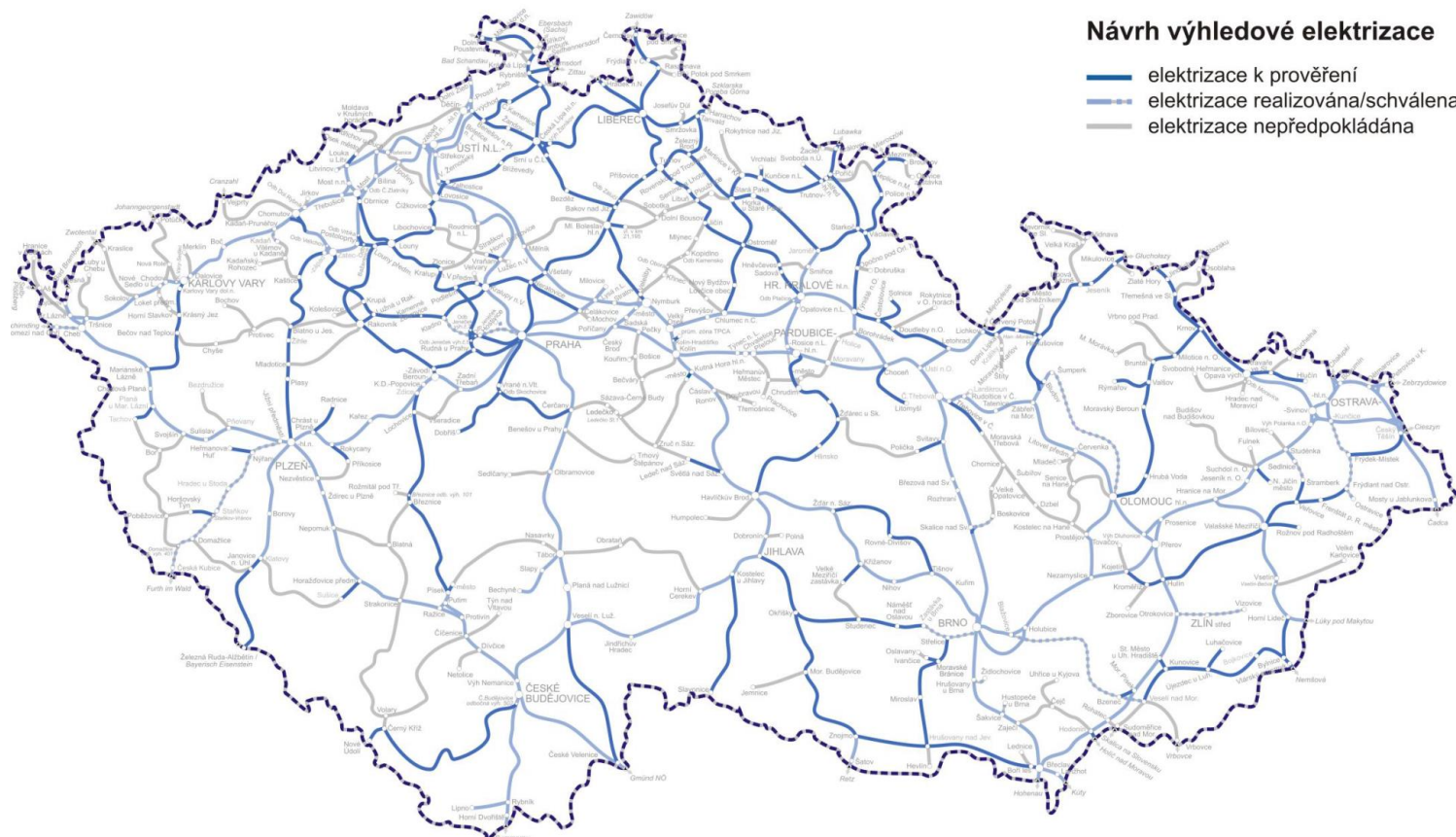
Elektrizace tratí - návrh SŽDC na elektrizaci sítě

SIEMENS

Ingenuity for life

(pro 472 km již je schválena Studie proveditelnosti, další pokračují):

- zkracují se potřebné dojezdové vzdálenosti akumulátorových vozidel,
- rozšiřují se místa, kde je možno nabíjet akumulátory z trakčního vedení



Nové pojetí kombinovaných vozidel trolej / akumulátor: IPEMU

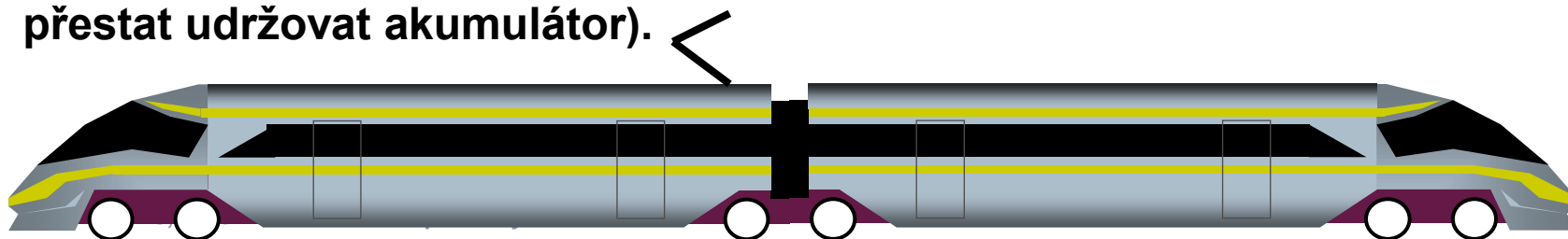
IPEMU (Independently Powered Electric Multiple Unit)

a) na hlavních elektrizovaných tratích využívají trakční vedení nejen k pohonu, ale i k nabíjení akumulátoru,

b) na odbočných vedlejších tratích nepotřebují trakční vedení – čerpají energii z akumulátoru.

Přednosti:

- **atraktivní rychlá a pohodlná bezpřestupová doprava z centra regionu i do odlehlých oblastí,**
- **tichý a čistý bezemisní provoz i na tratích bez trakčního vedení,**
- **nabíjení za jízdy po elektrizovaných tratích či při pobytu v elektrizovaných stanicích (bez ztráty času a bez potřeby budovat nabíjecí zařízení),**
- **po elektrizaci tratě není nutno měnit vozidla (jen je možno přestat udržovat akumulátor).**



Nové pojetí kombinovaných vozidel trolej / akumulátor: IPEMU

SIEMENS

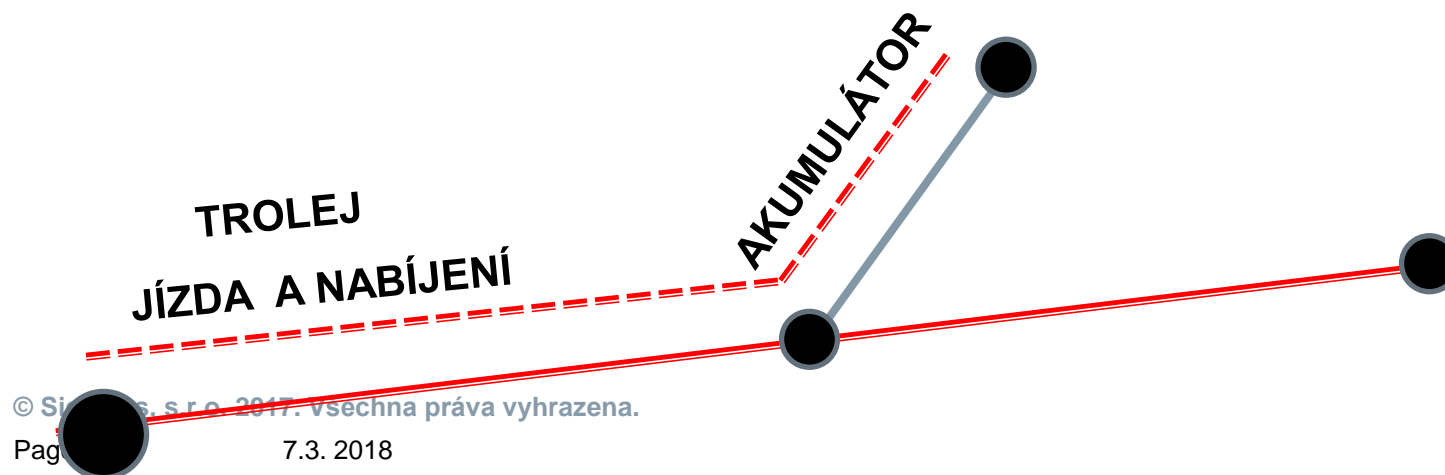
Ingenuity for life

Stav techniky: dojezd 80 až 100 km, rychlé nabíjení několikrát denně přes sběrač proudu z trakčního vedení (za jízdy nebo při stání vozidla):

- obsluha neelektrizovaných tratí délky 40 až 50 km při dostupnosti trakčního vedení na jednom konci,
- obsluha neelektrizovaných tratí délky 80 až 100 km při dostupnosti trakčního vedení na obou koncích.

Ekonomické přednosti:

- využití investic vložených do elektrizace hlavních tratí též k zajištění provozu na vedlejších tratích,
- vysoká produktivita vozidel i personálu na dlouhých vozebních ramenech.



Akumulátorová vozidla nejsou protipólem k elektrizaci dalších tratí, ale ^{Ingenuity for life} doplňují ji.

Elektrizace dalších tratí přispívá rozvoji akumulátorové vozby:

- rozšiřuje se oblast použití elektrických vozidel závislé trakce
- zkracují se potřebné dojezdové vzdálenosti akumulátorových vozidel,
- rozšiřují se místa, kde je možno nabíjet akumulátory z trakčního vedení.

Akumulátorová vozba přispívá k rozvoji elektrizace dalších tratí:

- pevná trakční zařízení slouží nejen k napájení vozidel provozovaných na dotyčné trati, ale i k napájení vozidel provozovaných na okolních tratích, což zvyšuje efektivnost investic do elektrizace,
- při elektrizaci je možno se prioritně soustředit na více zatížené tratě, málo zatížené úseky lze dočasně překlenout akumulátorovou vozbou a elektrizovat je až později.

Koordinace rozvoje železniční dopravní cesty:

- investice do nákupu vozidel se spalovacím motorem a investice do elektrizace tratí se navzájem maří,
- investice do nákupu elektrických vozidel s akumulátory a investice do elektrizace tratí se navzájem podporují (po elektrizaci tratě lze elektrické vozidlo nadále provozovat bez využití funkce akumulátorů).

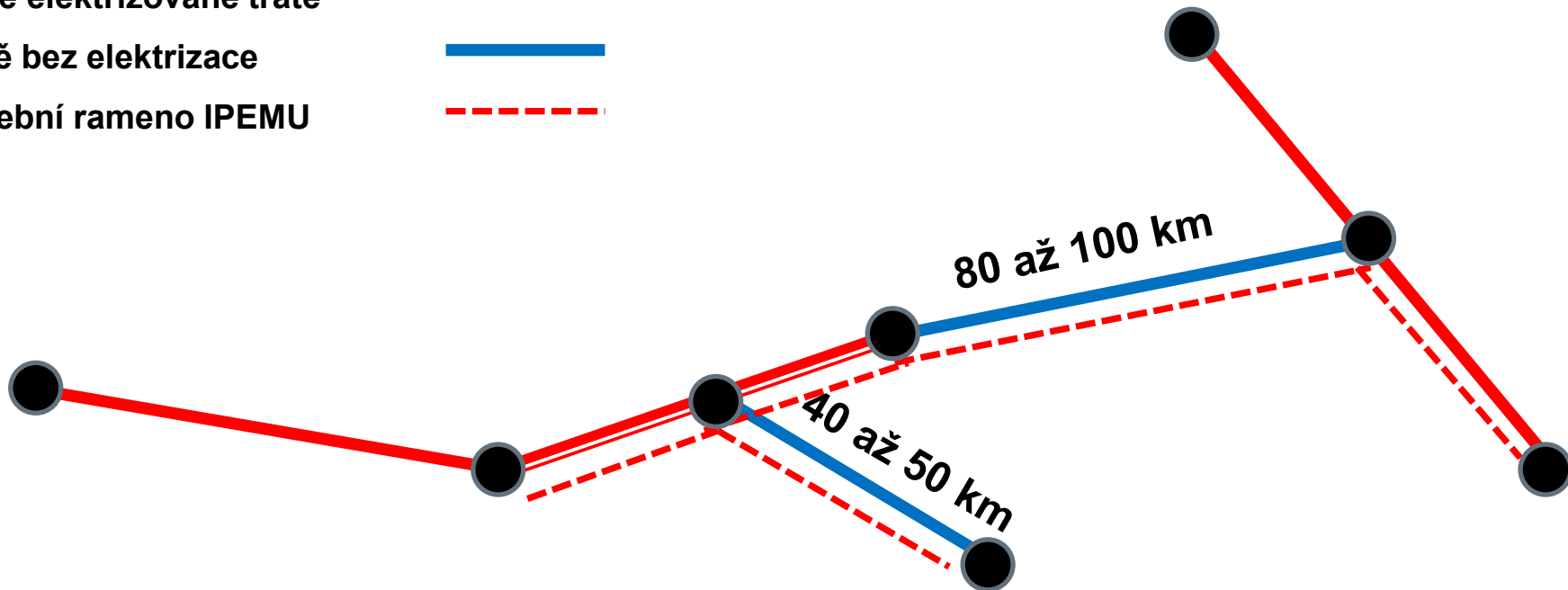
Akumulátorová vozidla a elektrizace tratí

SIEMENS

Ingenuity for life

Vysvětlivky :

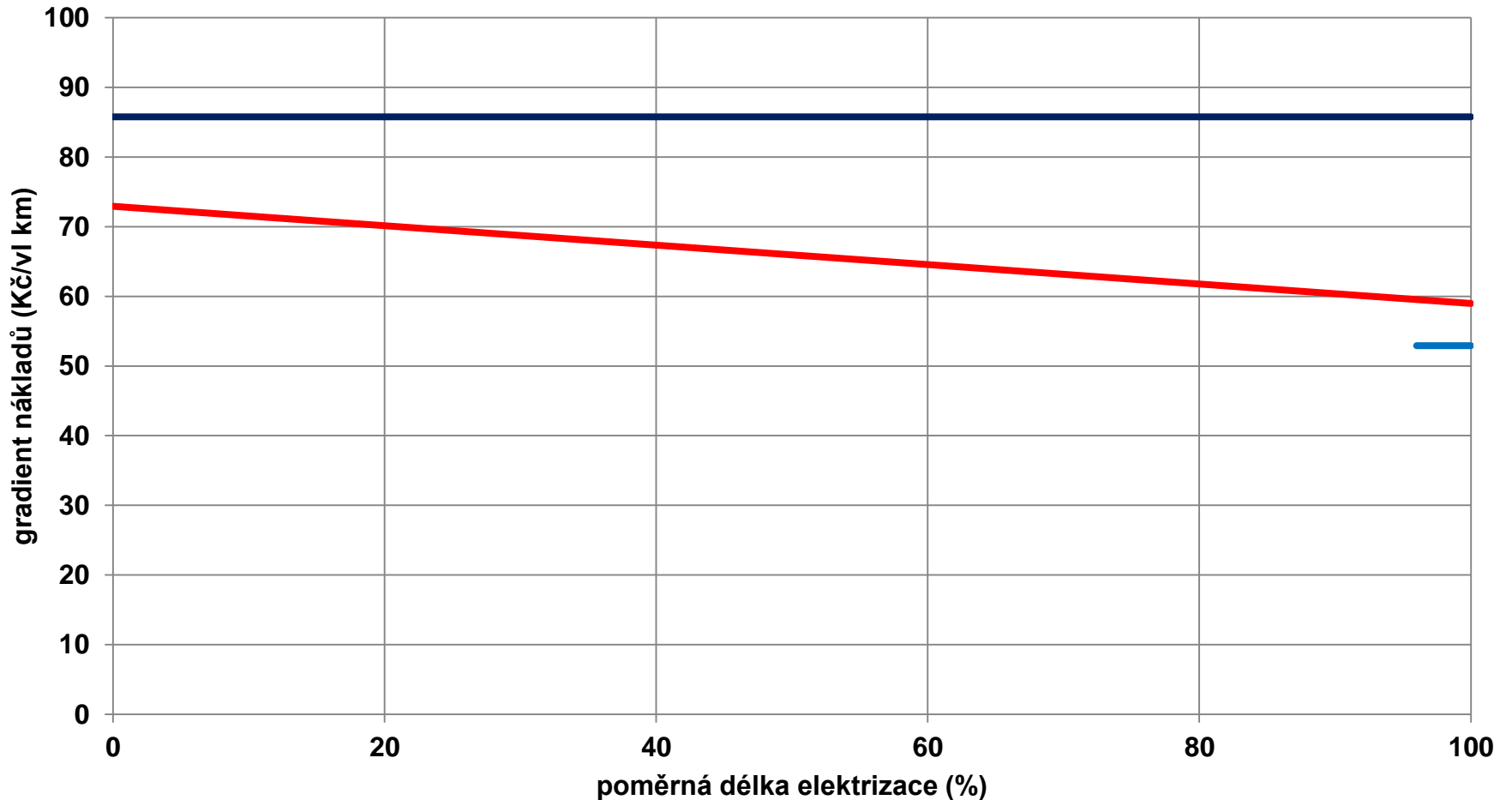
- již elektrizované tratě
- nově elektrizované tratě
- tratě bez elektrizace
- vozební rameno IPEMU



Vliv délky elektrizace tratě

náklady vozby regionalních vlaků

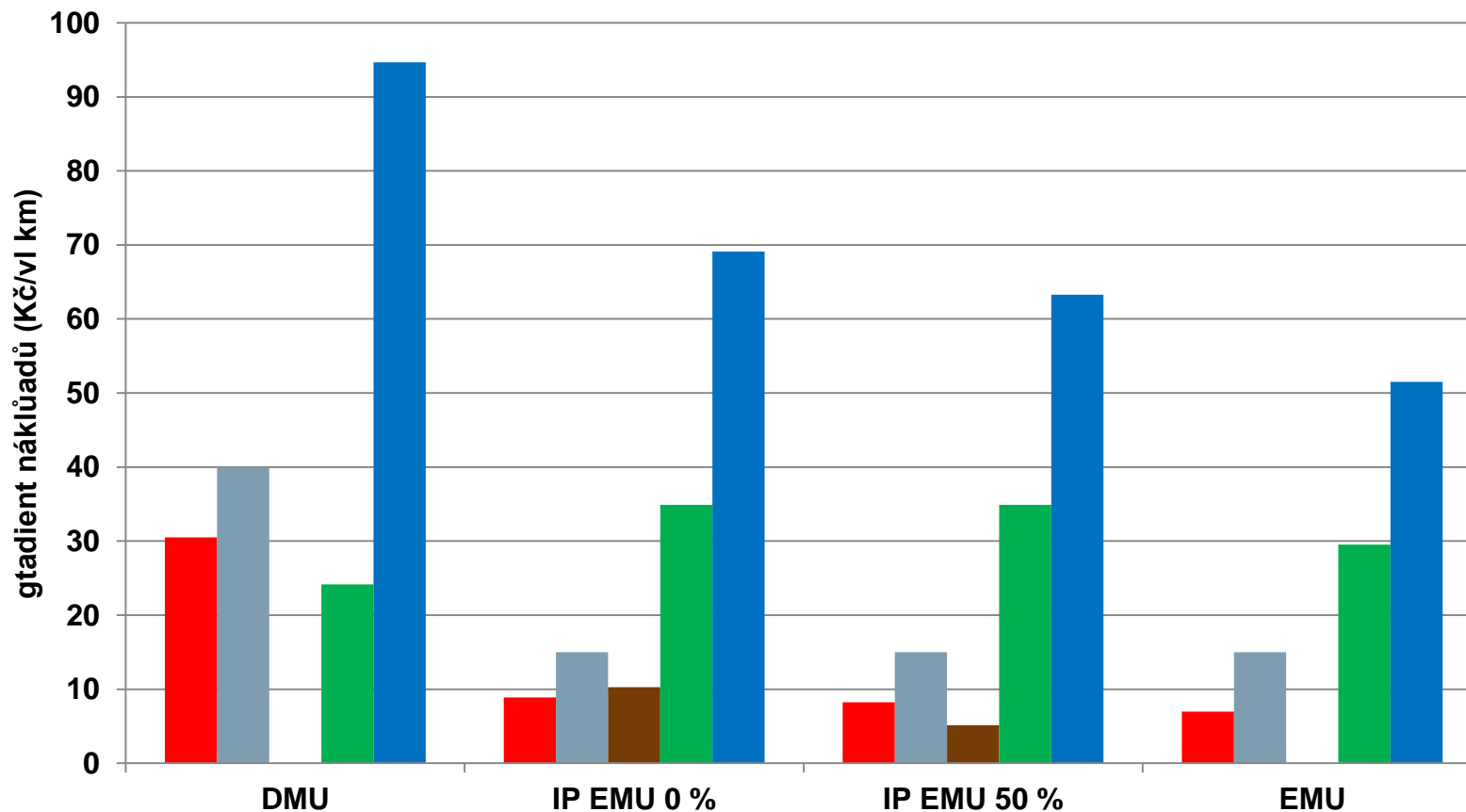
— DMU — IP EMU — EMU



Porovnání nákladů vozby (IPEMU: pro 0 % a 50 % elektrizaci délky tratě)

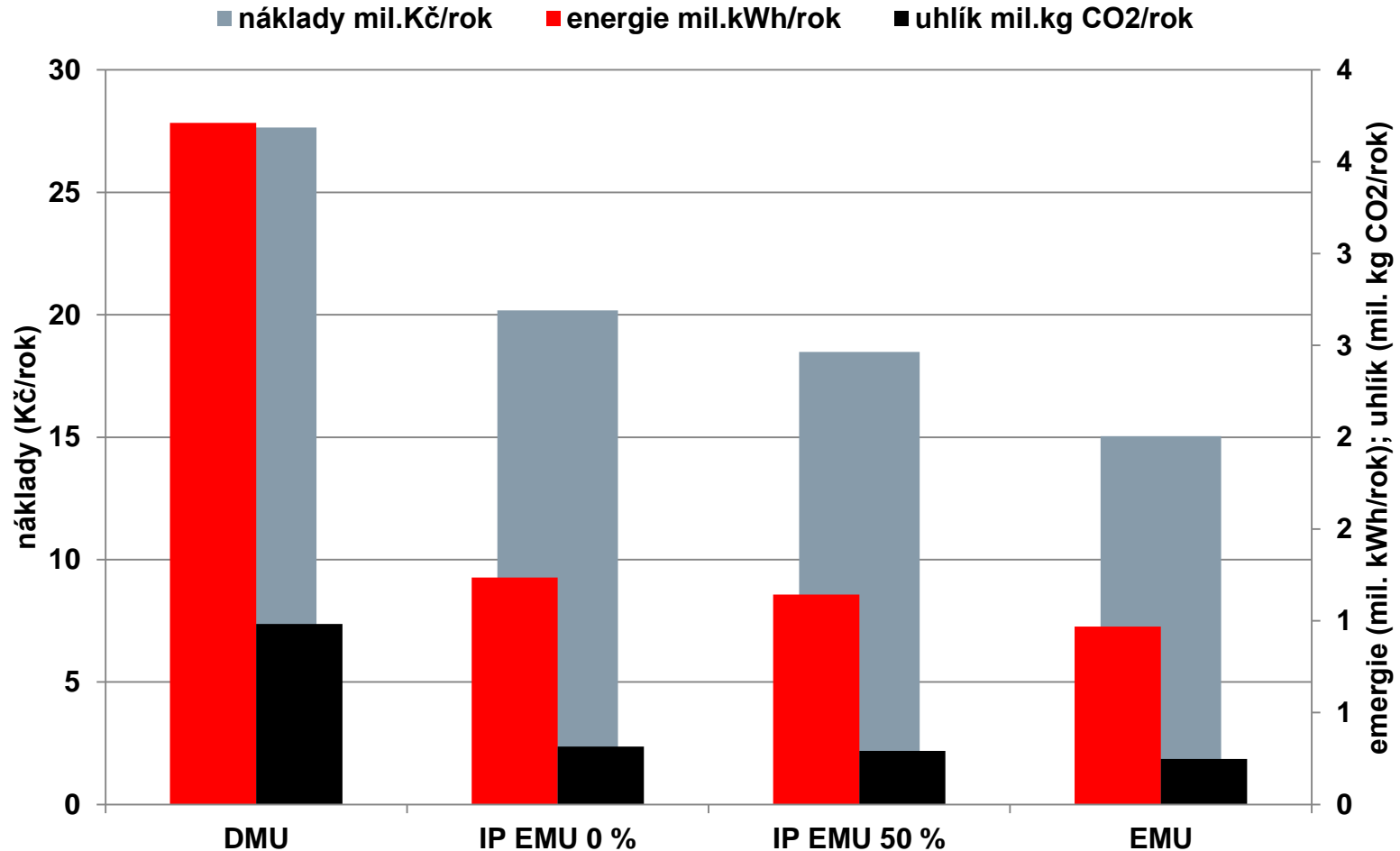
náklady vozby regionálních vlaků

■ energie Kč/km ■ udržba Kč/km ■ obn. aku Kč/km ■ odpis Kč/km ■ vozba Kč/km



Porovnání parametrů vozby (IPEMU: pro 0 % a 50 % elektrizaci délky tratě)

regionální osobní železniční doprava



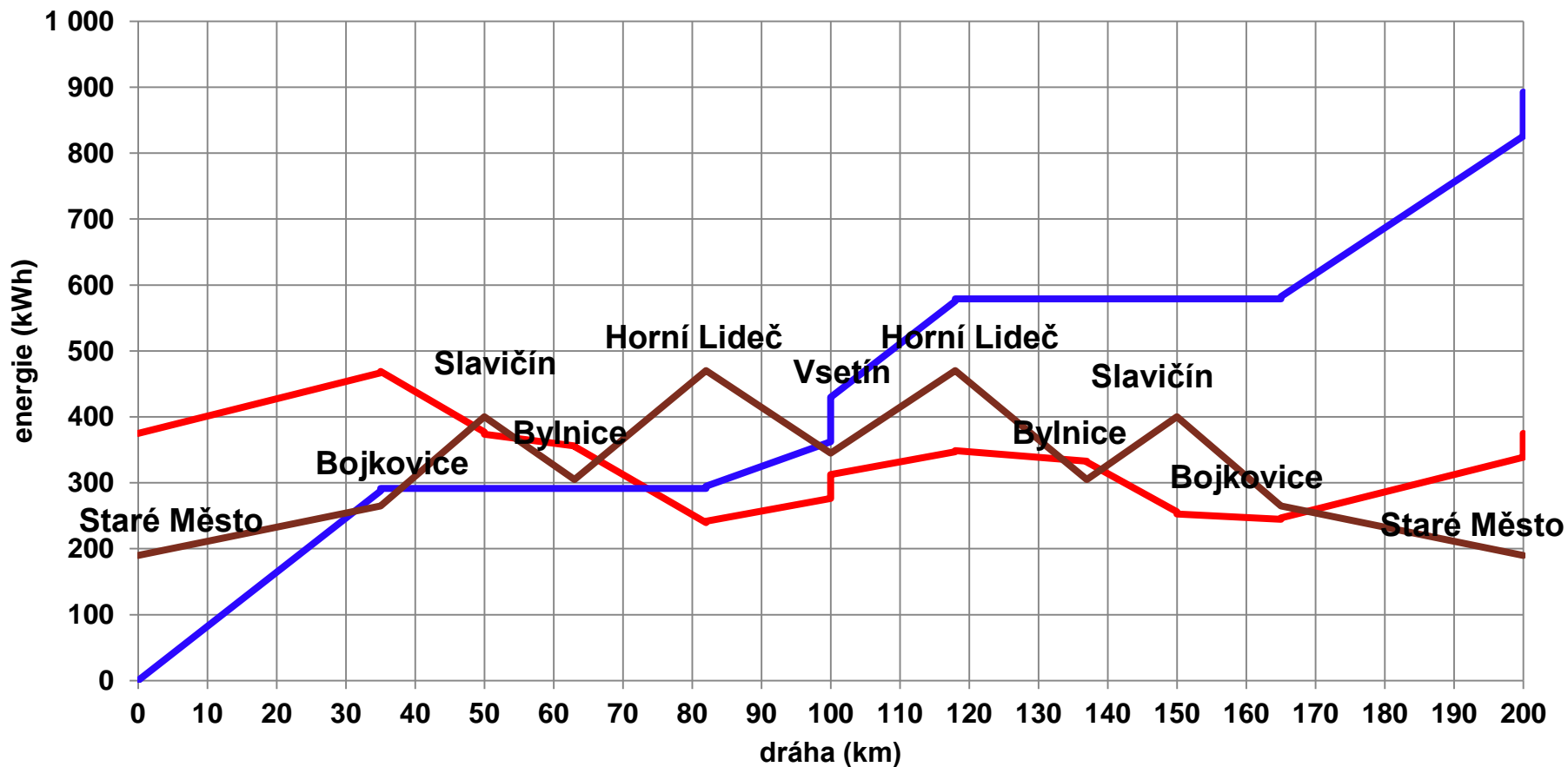
Příklad použití IPEMU na lince Staré Město u Uherského Hradiště – Bylnice - Vsetín

SIEMENS

Ingenuity for life

Jízda Os vlaku St. Město - Vsetín a zpět

— stav akumulátoru — odběr z trakčního vedení — nadm. výška



Staré Město

Bojkovice

Horní Lideč

Vsetín



Trend v městské dopravě: parciální trolejbusy (akumulátor umožňuje provoz mimo trakční vedení)

SIEMENS
Ingenuity for life

**Praha: projekt trolejbusové linky 140 Palmovka – Čakovice
(cca 60 % délky elektrizace, cca 40 % délky na akumulátor)**



© Siemens, s.r.o. 2017. Všechna práva vyhrazena.

Trend v nákladní silniční dopravě: e-Highway

SIEMENS
Ingenuity for life



Trend v městské dopravě: dvouzdrojové tramvaje

(akumulátor umožňuje provoz mimo trakční vedení)

Seville, Konya, Qatar, Nice, Seattle, Ninjang, ...

SIEMENS

Ingenuity for life



Trend v železniční dopravě: dvouzdrojové elektrické jednotky trolej/akumulátor

SIEMENS
Ingenuity for life

princip:

- sběrač proudu umožňuje provoz a nabíjení pod trakčním vedením
- akumulátor umožňuje provoz mimo trakční vedení

Tato vozidla řeší nejen energetiku vozby , ale i sociální geografii: vedlejší tratě nemusí být obsluhovány vozidly nižší kategorie a s přestupem.

Při použití dvouzdrojových elektrických vozidel trolej – akumulátor je lze integrovat do železniční sítě.



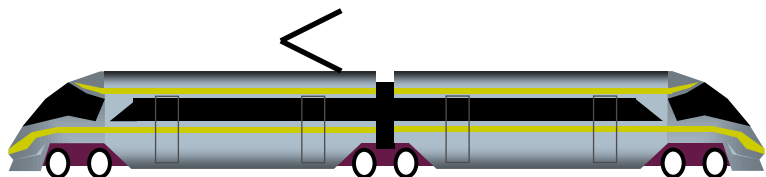
Liniovou elektrizací (trolejbusy, tramvaje, železnice) lze využít nejen k napájení vozidel zajišťujících dopravu na příslušných tratích, ale i nabíjení akumulátorů vozidel (za jízdy nebo za stání) zajišťujících dopravu na příslušných tratích.

Výhodou je nejen již vybudovaná infrastruktura pevných trakčních zařízení, ale velmi výhodná v cena elektrické energie, nakupované ve velkém (lokální distribuční síť) a s vyrovnaným odběrem mnoha vozidel.

To je odměnou za šetrné zatěžování elektrizační distribuční sítě 110 kV (příznivý poměr mezi maximálním a středním výkonem).

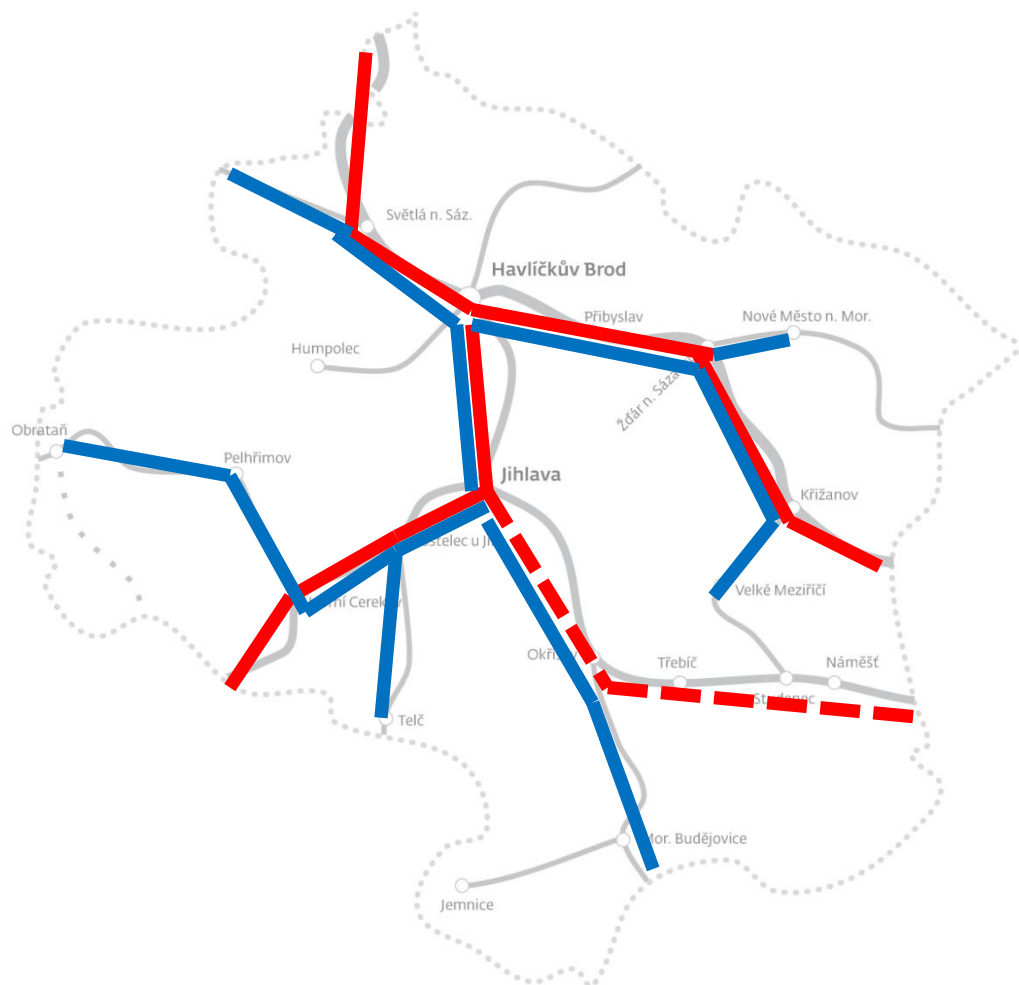
Kraj Vysočina přímých bezpřestupvá spojení Jihlavy s důležitými městy (IPEMU)

SIEMENS
Ingenuity for life



Pro přímá spojení měst ležících na elektrizovaných tratích s městy ležícími mimo elektrizované tratě je při současném stavu techniky již možno zajistit dvouzdrojovými elektrickými jednotkami trolej/akumulátor :

- nízké náklady na energii
 - nízké náklady na údržbu,
 - bez škodlivých exhalací,
 - bez vazby na fosilní pliva ,
- perspektivně nulová produkce CO₂.



Výhoda

Vysoké spalné teplo vodíku (33 kWh/kg)

Ale: vodík je velmi lehký (1 kg vodíku má za normálního tlaku objem 11 000 litrů), proto se stlačuje. Při tlaku 350 bar má 1 kg vodíku objem 32 litrů.

Příslušná ocelová nádoba má hmotnost cca 50 kg.

Příslušná kompozitová nádoba má hmotnost cca 21 kg.

Nevýhody

- vodík nelze v přírodě těžít, je nutno jej vyrábět:

a) z fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn) - neperspektivní,

b) z elektřiny elektrolýzou (účinnost běžných zařízení jen cca 40 %, u hi- tech vysokotlakých a vysokoteplotních zařízení cca 60 %),

- vodík se obtížně dopravuje potrubím (utíká netěsnostmi),

- vodík se obtížně transportuje (kamion o hmotnosti 40 t veze jen 250 kg vodíku),

- nebezpečí výbuchu.

Palivový článek

Výhoda:

Využití vodíku (ale i metanu) k přeměně na elektřinu

Nevýhody :

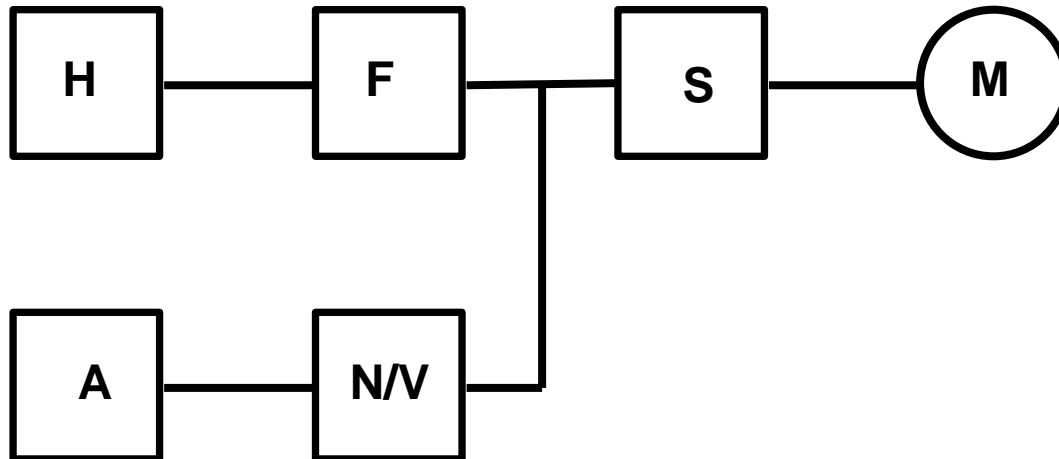
- nízká účinnost (65 %),
- drahé (platinová konstrukce),
- vyžaduje velmi čistý vodík (ne z běžné chemické výroby),
- nízký výkon,
- obtížná regulace („běží stále jako atomový reaktor“),
- neumí rekuperovat.

⇒ Vyžaduje vyrovnávací akumulátor

podobně jako u hybridního automobilu – místo spalovacího motoru je použit vodíku a palivový článek

Uspořádání vodíkového vozidla

Vozidlo s palivovými články a s akumulátorem elektrické energie



Řetězec elektrolýza – palivový článek lze vnímat jako akumulátor s otevřeným cyklem

„po nabití je přelit elektrolyt z jednoho akumulátoru do druhého“.

Nevýhodou je nízká výsledná účinnost řetězce elektrolýza – palivový článek, zhruba jen cca 40 %:

$$\eta = \eta_e \cdot \eta_{fc} = 0,60 \cdot 0,65 = 0,40$$

⇒ Použití vodíkového cyklu zvyšuje spotřebu elektrické energie na 2,5 násobek.

Paradox vodíkových vozidel:

-ve srovnání s vozidly s lithiovými akumulátory mají delší dojezd, neboť měrná energie zásob vodíku je velká,

- ve srovnání s vozidly s lithiovými akumulátory musí mít delší dojezd, neboť síť plnicích stanic je podstatně řidší, než síť pro elektrické nabíjení.

Energetické plyny v ocelových láhvích

SIEMENS

Ingenuity for life

látká		vodík	metan	poměr
měrné spalné teplo	kWh/kg	33,2	15,06	2,20
měrná hmotnost při atmosférickém tlaku	kg/m ³	0,09	0,7	0,13
měrný objem při atmosférickém tlaku	m ³ /kg	11,11	1,43	7,78
měrné spalné teplo v přepočtu na objem při atmosférickém tlaku	kWh/m ³	2,99	10,54	0,28
atmosferický tlak	bar	1	1	1,00
skaldovací přetlak	bar	350	200	1,75
stlačený objem	m ³	0,032	0,007	4,45
měrná hmotnost při skladovacím tlaku	kg/m ³	31,59	140,7	0,22
měrné spalné teplo v přepočtu na objem při skladovacím tlaku	kWh/m ³	1 049	2 119	0,49
materiál nádoby		ocel	ocel	
měrná hmotnost nádoby	kg/m ³ /bar	4,5	4,5	1,00
gradient hmotnosti nádoby	kg/m ³	1 575	900	1,75
poměr hmotnosti nádoby k hmotnosti paliva		50	6	7,79
měrné spalné teplo včetně hmotnosti nádoby	kWh/kg	0,65	2,04	0,32
účinnost (ke spalnému teplu)	%	60	35	1,71
měrná využitelná energie	kWh/kg	0,39	0,71	0,55

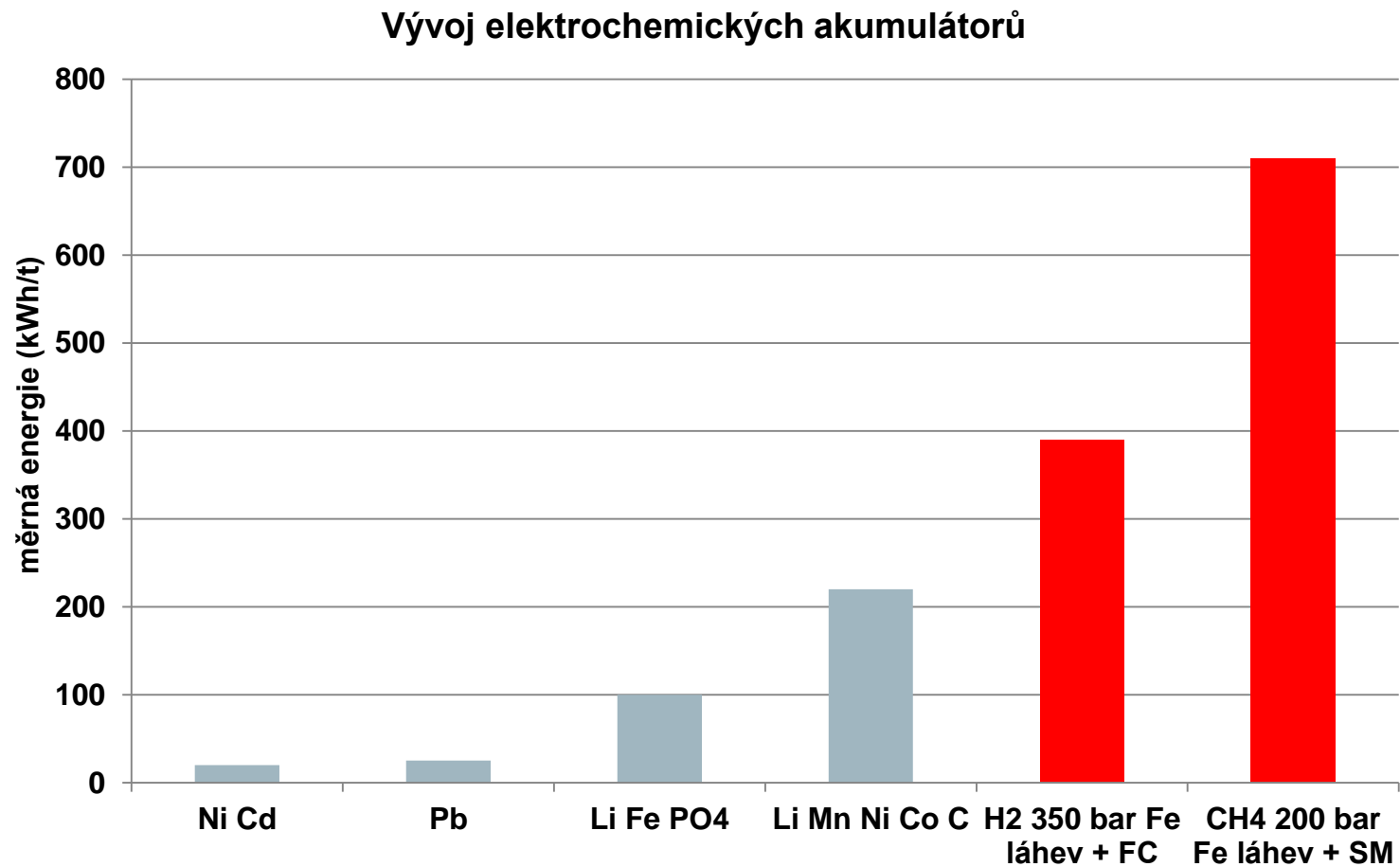
Energetické plyny v kompozitních láhvích

SIEMENS

Ingenuity for life

látká		vodík	metan	poměr
měrné spalné teplo	kWh/kg	33,2	15,06	2,20
měrná hmotnost při atmosférickém tlaku	kg/m ³	0,09	0,7	0,13
měrný objem při atmosférickém tlaku	m ³ /kg	11,11	1,43	7,78
měrné spalné teplo v přepočtu na objem při atmosférickém tlaku	kWh/m ³	2,99	10,54	0,28
atmosférický tlak	bar	1	1	1,00
skladovací přetlak	bar	350	200	1,75
stlačený objem	m ³	0,032	0,007	4,45
měrná hmotnost při skladovacím tlaku	kg/m ³	31,59	140,7	0,22
měrné spalné teplo v přepočtu na objem při skladovacím tlaku	kWh/m ³	1 049	2 119	0,49
materiál nádoby		kompozit	kompozit	
měrná hmotnost nádoby	kg/m ³ /bar	1,9	1,9	1,00
gradient hmotnosti nádoby	kg/m ³	665	380	1,75
poměr hmotnosti nádoby k hmotnosti paliva		21	3	7,79
měrné spalné teplo včetně hmotnosti nádoby	kWh/kg	1,51	4,07	0,37
účinnost (ke spalnému teplu)	%	60	35	1,71
měrná využitelná energie	kWh/kg	0,90	1,42	0,63

Porovnání zásobníků energie



Na mořských pobřeží v blízkosti velkých parků větrných elektráren je v noci nadbytek velmi levné elektrické energie, pro kterou (prozatím) není užití.

Její ceny jsou velmi nízké (až záporné).

Další mohutné větrné parky jsou budovány (společný projekt UK a NL: 30 GW, tedy 15 x JE Temelín).

Je připravováno využití okamžitých přebytků elektřiny:

- dálková přenosová elektrická vedení (1 200 kV DC),**
- zásobníky elektrické energie,**
- chytré sítě – řízení spotřebičů podle nabídky (a ceny) elektrické energie,**
- metanizace - přeměna vodíku na metan ($H_2 + CO_2 \dots CH_4$) a jeho přenos existující plynovodní sítí => obnovitelný zdroj zemního plynu (strategická koncepce).**

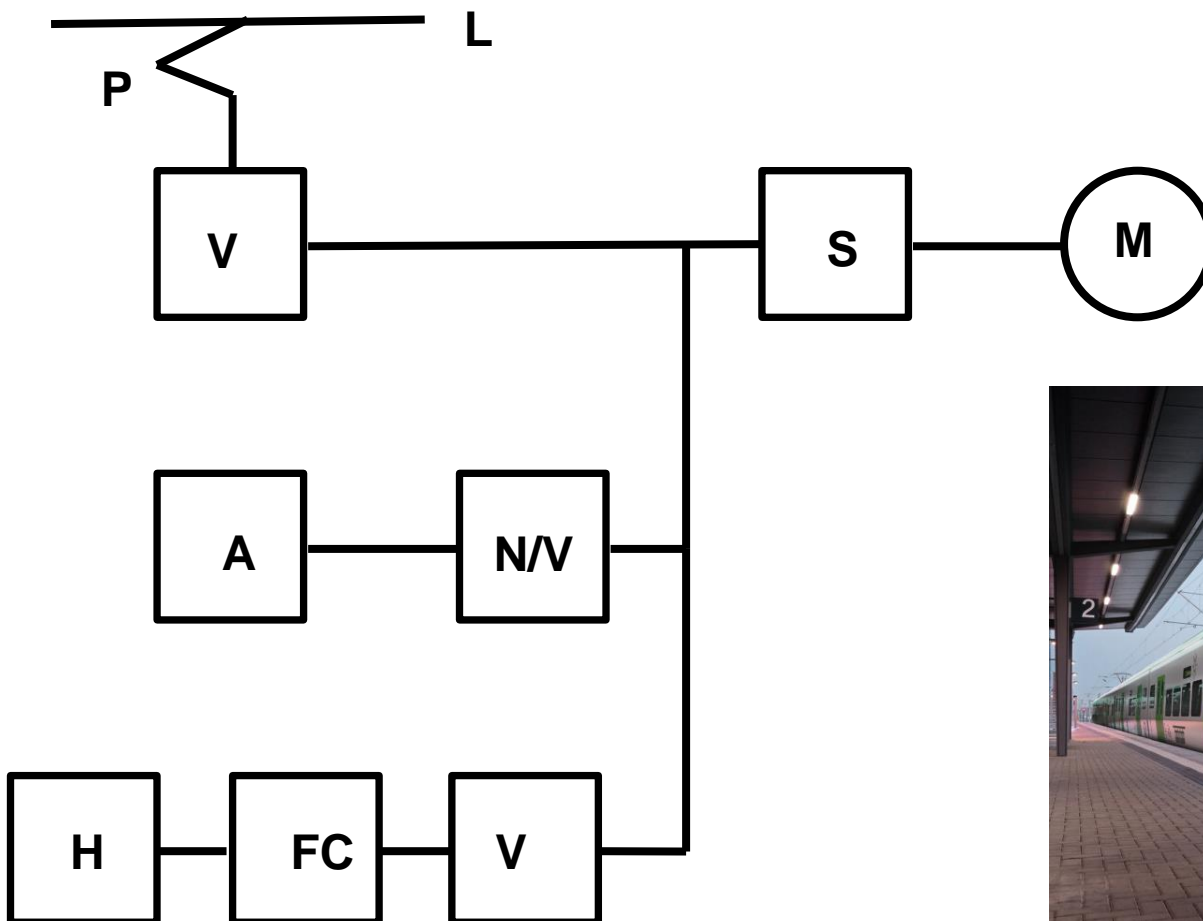
příslušná zařízení však ještě nejsou vybudována, větrné parky již ano.

=> aktuálním řešením je použití přebytečného vodíku na železnici a to v elektrických vozidlech se zásobníky vodíku a s palivovými články.

Podmínkou je blízkost plnicí stanice k výrobně vodíku (snaha minimalizovat drahý transport vodíku).

Uspořádání vodíkového pohonu

Elektrické závislé vozidlo s palivovým článkem a s akumulátorem elektrické energie



Děkuji Vám za Vaši pozornost !