

Petr Brouček<sup>1</sup>

## Řešení energetické bilance vozů osobní přepravy

**Klíčová slova:** *úspora energie, osobní vozy, železniční doprava*

Železniční doprava se vyznačuje relativně nízkou energetickou náročností. Tato skutečnost vystupuje do popředí zejména v porovnání s dopravou silniční a leteckou. Energetická náročnost přepravy osob se uvádí a převádí na porovnatelný měrný osobokilometr. Náročnost železniční přepravy je v tomto ohledu řádově více jak poloviční v porovnání s přepravou silniční a zhruba čtvrtinová v porovnání s dopravou leteckou. Konkrétně z hlediska zatížení životního prostředí CO<sub>2</sub> je to cca 61g CO<sub>2</sub> na osobokilometr v železniční dopravě, oproti 140g CO<sub>2</sub> na osobokilometr v dopravě automobilové.

Přes tuto skutečnost je snižování energetické náročnosti železniční dopravy samozřejmě stále velmi aktuální. Svědčí o tom i fakt, že pod patronací organizací UIC a UNIFE byl v rámci Evropské unie řešen v letech 2006÷2010 projekt ke snižování energetické náročnosti „projekt **Railenergy**“, zaměřený na železniční dopravu. Na jeho řešení se podílelo celkem 27 organizací a společností a to jak ze strany výrobců, tak i železničních společností a výzkumných ústavů z celé Evropské unie. Výsledkem jsou doporučení, jejichž realizací by mělo do roku 2020 v železniční dopravě jako celku dojít ke snížení spotřeby elektrické energie cca o 6%. V oblasti tažených vozidel, kterými se zabývá tento příspěvek, bylo poukázáno na rezervy v oblasti tepelné izolace skříní vozidel, na možnost zlepšení izolačních vlastností skel oken a souhrn dalších aspektů souvisejících především s vlastním provozem vozidel. V této souvislosti bylo například doporučeno důsledně aplikovat a tedy i specifikovat podmínky automatického zavírání nástupních dveří při delším stání vozidel, aplikovat možnost temperování vozidel při jejich odstavení, možnost regulace vnitřního osvětlení vozidel apod.

Tento projekt předpokládá, že například zlepšením tepelných izolací skříní vozidel by bylo možno uspořit až 20% energie, spotřebovávané taženými vozidly. V této souvislosti je třeba zdůraznit, že v rámci modernizací osobních vozů společnosti Českých drah jsou mnohé z těchto závěrů a požadavků již uváděny do praxe, jako je např. osvětlení LED žárovkami (3÷13watt oproti 40÷60watt dříve používaných zářivek, příp. klasických žárovek), možnost temperování osobních vozů v případě jejich krátkodobého odstavení apod. Provedení tepelné izolace vozů je

---

<sup>1</sup>Ing. Petr Brouček, nar. r.1951, České vysoké učení technické Praha, fakulta elektrotechnická, obor: Silnoproudá elektrotechnika, Výroba a rozvod elektrické energie, v letech 1975-1988 pracoval na Generálním ředitelství železničního průmyslového opravárenství v Nymburce, technickém úseku, od r. 1988 na Generálním ředitelství Československých státních drah, později Českých drah, a.s. na odboru kolejových vozidel.

hodnoceno a kvalitativně vyjádřeno koeficientem prostupu tepla skříně vozidla  $K(W/m^2.K)$ , který v sobě zahrnuje vlastnosti izolace vnějších stěn, podlah, stropů včetně vlivu infiltrace vzduchu způsobené netěsností pohyblivého vozidla (zejména v oblasti dveří, oken atd.). Používá se k popisu stupně a kvality tepelné izolace vozidla jako celku nebo jeho částí. Vyhláškou mezinárodní železniční unie UIC 567, resp. evropskou normou EN 13 129-1 je jeho maximální přípustná hodnota stanovena podle pásma, kde má být vozidlo provozováno. Pro středoevropskou oblast u jednopatrových vozů byla tato hodnota stanovena pro prostor pro sedící cestující na max.  $1,6W/m^2.K$ . U jedoucích vozů pak může tato hodnota vlivem infiltrace vzduchu narůst maximálně o  $0,4 W/m^2.K$ . Podobně je stanovena hodnota koeficientu  $K$  i pro nástupní prostory a předstávky, kde se připouští zvýšení této hodnoty maximálně o  $1 W/m^2.K$ , tj. na hodnotu  $2,6W/m^2.K$ . Zde je vhodné rovněž zdůraznit, že pro vozidla určená pro mezinárodní provoz je tento požadavek, spolu s platností vyhlášky UIC 567 od r. 2004 závazný a ověřování předmětných hodnot u nových i modernizovaných vozidel by mělo být v rámci schvalovacích řízení samozřejmostí. Ze strany kupujícího pak důsledně vyžadováno a věnována mu maximálně možná pozornost. Měření se provádí v rámci typových zkoušek a jeho postup je detailně popsán ve vyhlášce UIC 553-1, příp. normě EN 13 129-2 jako součást typových měření, prováděných ve speciálních klimatických komorách, umožňujících dosažení velmi nízkých teplot okolí, včetně simulace proudění vzduchu za jízdy, případně i větru. Ke snížení spotřeby el. energie osobních vozů, se rovněž doporučuje ověřovat výskyt tepelně vodivých můstků.

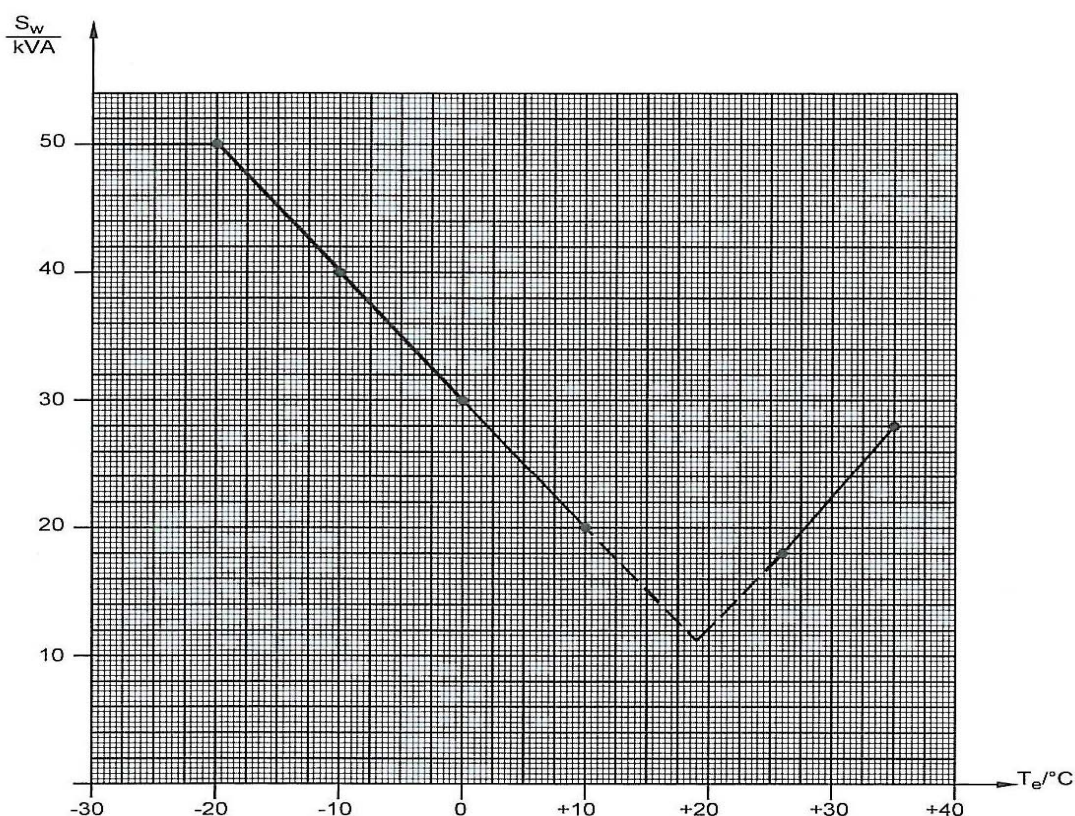
U osobních vozů společnosti ČD, a.s. jsou tyto izolace realizovány vesměs z materiálů, obsahující minerální vlákna (případně s různými přísadami) nebo přírodních materiálů na bázi celulozy, v některých případech opatřených ještě hliníkovou folií - např. Isover-Moniflex, Nobasil LSP, Itaver, Rotaflex. Předmětné materiály plní vesměs i funkci hlukové izolace pohlcující hluk z vnějšího prostředí. Musí být hydrofobní, neabsorbovat vodní páry, resp. kondenzovanou vodu a zachovávat stálost po dobu minimálně 15 let.

Zejména při modernizacích starších vozidel by bylo proto vhodné v daleko větší míře zaměřit pozornost na eliminaci tepelně vodivých můstků, zlepšení tepelných izolací, zejména podlah a stropů, zajištění dobrého těsnění oken i dveří a v tomto smyslu důsledně požadovat od dodavatelů i příslušné ověřovací zkoušky.

Velký vliv na úsporu elektrické energie má rovněž optimalizace regulace klimatizačního zařízení jako celku, zejména v režimu regulovaného chlazení, kdy v rámci jemného doregulování teplot na požadované hodnoty dochází k součinnosti chladicího zařízení a přídavných topnic. Velké rezervy z hlediska úspory tepelné energie jsou rovněž v provedení skel, resp. oken. Například v případě použití oken s trojskly opatřenými reflexními foliemi uvádí výše zmíněný projekt **Railenergy** možnost zlepšení jejich izolačních termovlastností až o 61%.

Z hlediska legislativních požadavků, resp. požadavků předpisů řeší provedení napájení osobních vozů elektrickou energií především vyhláška mezinárodní železniční unie UIC 550 „**Elektrická zařízení zásobování osobních vozů elektrickou energií**“, poslední, 11. vydání z r. 2005, která stanovuje základní požadavky a podmínky pro elektrovýzbroj osobních vozů mezinárodní dopravy tak, aby umožňovaly jejich technickou součinnost v rámci celého vlaku.

Předpokládá, že osobní vozy jsou napájeny prostřednictvím vysokonapětového kabelu jedním ze systémů popsaných ve vyhláškách UIC 552, resp. UIC 600. Každý vůz je kromě toho vybaven akumulátorovou vozidlovou baterií, která umožňuje plnit základní funkce elektrovýzbroje vozu i v případě přerušení nebo výpadku napájení vozu z vysokého napětí (vn). Tato vyhláška UIC 550 rovněž stanovuje podmínky pro selektivní odpínání jednotlivých spotřebičů instalovaných na vozech osobní dopravy podle jejich důležitosti v případě přerušení napájení vozu z kabelu vn po delší dobu a podmínky instalace jednotlivých spotřebičů, jako jsou např. zásuvky pro PC, pro čisticí zařízení atd. Vyhláška UIC 550 stanovuje i důležitou podmínku maximálně přípustného odebíraného el. výkonu vozu  $S_w$  z vysokonapětového vedení v závislosti na venkovní teplotě  $T_e$  (viz obr.1). Tato podmínka je v podstatě určující a základní podmínkou pro energetickou bilanci každého vozu. Maximálně přípustný odebíraný elektrický výkon vozu odebíraný z průběžného vn vedení je dán především technickými možnostmi, které umožňuje provedení tohoto napájecího průběžného vedení, popsaného ve vyhlášce UIC 552, příp. zdroji el. energie, které jsou umístěny na lokomotivě. Předpokládá se přitom, že vlak může být složen maximálně z 15ti vozů, z nichž maximálně jeden může být vůz restaurační. Pro restaurační vozy se přitom připouští navíc odběr vyšší cca o 50 kVA oproti ostatním vozům.



Obr.1 - Maximální výkon  $S_w$ , který může být trvale odebírán osobním vozem z průběžného vn vedení v závislosti na venkovní teplotě  $T_e$

Se zvyšujícím významem železniční dopravy, zejména dálkové, je samozřejmě kladen ve stále větší míře požadavek na úroveň kultury cestování, což sebou přináší i požadavky na instalaci dalších elektrospotřebičů, zejména u vozů speciálních, jako jsou vozy lůžkové a restaurační a tím i zvýšené nároky na odběr elektrické energie. Z druhé strany nelze očekávat z technických i ekonomických důvodů navýšení mezních limitů maximálního odběru elektrické energie na vůz. Problematika efektivnosti a účinnosti spotřeby elektrické energie osobních vozů a vlastní jejich energetická bilance nabývá proto s časem stále více na důležitosti a nelze předpokládat, že by se tento trend změnil. Konstrukteři i provozovatelé budou proto nuceni se stále důkladněji zabývat hospodařením s elektrickou energií každého vozu, ať už v rámci projektů či vlastního provozování.

Už dnes se dá říci, že se dá očekávat, že bude kladen stále větší důraz na účinnost jednotlivých spotřebičů, včetně centrálních zdrojů energie, efektivitu jejich odběru a zapojení tak, aby nemohlo dojít k překročení omezujících hodnot odběrového proudu vozu jako takového.

Spolu s neustále se zvyšujícími cenami elektrické energie a zpříšňováním podmínek ze strany správce infrastruktury (SŽDC) lze očekávat, že budou i dopravci nuceni věnovat těmto záležitostem čím dál tím větší pozornost a v důsledku toho budou uplatňovány i přísnější požadavky na konstrukční provedení vozidel.

### **Skladba elektrických spotřebičů osobních vozů s klimatizací v obvyklém provedení**

Z hlediska zapojení a spotřeby elektrické energie osobních vozů lze hlavní spotřebiče a zdroje rozdělit do dvou skupin:

#### ***a) V první řadě jsou to nabíječe vozidlových akumulátorových baterií, které zároveň slouží jako zdroje pro napájení palubních sítí.***

U klasických osobních vozů pro mezinárodní provoz je palubní síť realizována jako izolovaná s jmenovitým stejnosměrným napětím 24V, u lůžkových a restauračních vozů se připouští i jmenovité napětí 110Vss. Napětí palubní sítě 110Vss je například použito u lůžkového vozu ř. WLABmz, vyrobeného firmou Siemens pro Ruské železnice (RŽD). Těmto jmenovitým napěťovým úrovním přísluší i provedení vozidlové baterie. Jako vozidlové baterie jsou používány jak baterie zásadité NiCd, tak i kyselé olověné, ty případně v provedení gelových, bezúdržbových baterií. Na základě provozních zkušeností lze konstatovat, že každý typ baterie má svoje přednosti, ale i nedostatky a nelze jednoznačně konstatovat, který typ baterie je pro železniční kolejová vozidla nejlepší a nejoptimálnější.

Při projektování musí být kapacita baterie ověřena zejména ve vztahu k době funkčnosti jednotlivých spotřebičů připojených k palubní síti (např. nouzové osvětlení vozu, chod ventilátorů, řízení jednotlivých spotřebičů apod.) v případě odpojení zdroje vn tak, aby byly splněny požadavky vyhlášek UIC, resp. norem EN. Přitom musí být zohledněno i chování baterií při nízkých venkovních teplotách (pro naše podmínky se uvažuje cca -20°C) a skutečnost, že kapacita baterie během provozu postupně klesá.

U osobních vozů se používají vesměs vozidlové baterie o kapacitě cca 400 Ah. Požadavky na kapacitu vozidlové baterie zaznamenaly poslední dobou výrazných změn, souvisejících s používáním centrálních zdrojů elektrické energie (CZE) a tím možností dobíjet baterie vždy při napájení vozu vysokým napětím a ne pouze při jízdě tak, jak tomu bylo dříve. Původně se u vozů, opatřených alternátorem, příp. dynamem, vycházelo z požadavku, že kapacita baterie musí umožňovat minimálně pětihodinové svícení aspoň nouzového osvětlení a tři hodiny funkčnost ventilátoru topení. Se zavedením CZE se tyto podmínky změnilly a optimalizovaly v rámci požadavků vyhlášek UIC i norem TSI.

Jednotlivé spotřebiče jsou v závislosti na důležitosti funkce selektivně odpojovány po stanoveném časovém intervalu nebo podle velikosti napětí baterie. Nejdůležitější spotřebiče jako je např. magnetická kolejnicová brzda, řízení protismykového zařízení, nástupních dveří, požární ústředny apod. nejsou od vozidlové baterie odpojovány vůbec. U osobních vozů speciálního provedení, jako jsou např. lůžkové, restaurační, vozy s plošinou apod., vychází potřebná kapacita vozidlové baterie vyšší, například až 1100 Ah, zejména s ohledem na požadavek napájet z vozidlové baterie mrazničky, zvedací plošiny apod.

Z hlediska úspory elektrické energie se v případě palubních sítí sleduje především možnost využití LED žárovek ve vnitřním osvětlení vozů. Na požadovanou kapacitu akumulátorové baterie má výrazný vliv rovněž snížení požadavků předpisů na dobu osvětlení vozu nouzovým osvětlení (na místo původních, výše zmíněných pěti hodin, předepisovaných v UIC 555, je dnes vyžadováno v legislativně závazném předpisu Evropské unie o interoperabilitě „2008/163/ES–Bezpečnost v železničních tunelech“ jen 90 minut). Rovněž použití asynchronních motorů k pohonu ventilátorů, namísto původních stejnosměrných motorů, vede k dalším dílčím úsporám elektrické energie.

Výkon nabíječek se pro výše zmíněné baterie pohybuje cca od 5÷6kVA, na baterii cca 440 Ah, příp. 9kVA při zohlednění potřeby současného napájení spotřebičů palubní sítě a nabíjení vozidlových baterií. V případě dvou vozidlových baterií bývají použity nabíječky dvě. Velikost odebírané energie je samozřejmě závislá na stavu baterie a podmínkách pro nabíjení (nabíjení baterie je omezeno v závislosti na teplotě okolí).

Z palubní sítě bývají často přes oddělovací trafo a měniče napájeny i sítě 220V/50Hz pro napájení především zásuvek pro PC, mrazniček apod. Oddělovací trafo musí být použito, aby zůstaly zachovány podmínky pro bezpečnost palubní sítě, jako sítě SELV.

***b) Měniče, které slouží k napájení nízkonapětových spotřebičů vozu (230V, 400V), především klimatizačního zařízení, topení a vnitřního vybavení vozů.***

Zde je koncepce u všech modernizovaných, příp. nově dodávaných osobních vozů ČD,a.s. velmi podobná a liší se především provedením klimatizačních agregátů, příp. velikostí jejich výkonů. Do roku cca 2000, byly v podstatě všechny el. spotřebiče osobních vozů ČD, a.s. napájeny z CZE, což mělo praktickou výhodu v tom, že ošetření a volba různých napětových systémů byla realizována výhradně na straně vn, pomocí měničů CZE, příp. předřazených spínacích prvků. Výstupy z CZE už mohly být řešeny jako klasické obvody nízkonapětové, resp. obvody malého napětí. Tímto způsobem jsou řešeny i osobní vozy dodávané ČD,a.s. firmou Siemens

v letech 1998÷2006, řady Ampz, Bmz a WRmz. Právě z důvodu úspory el. energie a optimalizace energetické bilance osobních vozů, je však vyhláškou UIC 550 doporučeno řešit napájení topných registrů, jako relativně největších spotřebičů vozů, přímo z vysokého napětí a uspořít tak energii, která by se jinak ztrácela v měničích CZE. Prakticky to sice znamená složitější konstrukční řešení na straně vn i vlastních registrů topení, ale na druhou stranu úsporu energie o cca 10÷15% jejich výkonu (10÷20kW).

Výstupy těchto nízkonapěťových měničů centrálních zdrojů energie jsou v provedení:

- s proměnou frekvencí výstupního napětí. Regulace a změna frekvence (obvykle cca 5÷80Hz) slouží k regulaci výkonu klimatizačních agregátů (chladících kompresorů a ventilátorů kondenzátorů) a bývá většinou řízena přímo z řídicí jednotky klimatizačního zařízení,
- s frekvencí pevnou 50Hz, určenou k napájení ostatních nízkonapěťových spotřebičů vozů.

Tyto výstupní měniče jsou podobně jako nabíječe vozidlových baterií napájeny z meziobvodu stabilizovaného stejnosměrného napětí CZE (obvykle 600÷700V ss), nebo z vozidlové baterie v případě obvodů, u kterých je žádoucí nepřetržitý provoz, nepřerušovaný např. odpojením CZE od vn (stažení sběrače na hnacím vozidle, příp. krátkodobé odstavení vozu mimo zdroj vn apod.). Týká se to např. napájení zásuvek pro PC nebo mrazniček.

Energetická bilance vozu se u klimatizovaných vozů ověřuje samostatně pro letní a zimní provoz.

V případě letního provozu se předpokládá plné využití chladících kompresorů, výkonu motorů ventilátorů kondenzátorů, motorů odsávacích ventilátorů a hlavního ventilátoru klimatizačního zařízení. Dále se musí uvažovat rovněž el. energie pro tzv. přídatné regulační topnice, které regulují a vyrovnávají teplotu v jednotlivých oddílech v režimu topení, ale i chlazení. Jejich připojování je řízeno regulátorem, resp. řídicí jednotkou klimatizace.

V zimním období se musí uvažovat s plným využitím výkonu topných registrů, topnic na představnících, oddílech WC, přídatných regulačních topnic, hlavního ventilátoru klimatizačního zařízení, odsávacích ventilátorů, zařízení na ohřev vody, včetně ohřevu odpadního potrubí a fekálních nádrží jako ochrany proti zamrznutí.

Z hlediska úspory elektrické energie a odpovídající energetické bilance, jak už bylo zmíněno dříve, by bylo vhodné zaměřit pozornost zejména na oblast zlepšení tepelně izolačních vlastností vozidel a systémů regulace výkonu klimatizačního zařízení jak v režimu topení, tak i chlazení. Systémy temperování vozů na teplotu kolem 5°C, jejichž využití připadá v úvahu především v případech krátkodobé odstávky osobních a speciálních vozů v zimním období, jsou již aplikovány a v praxi se osvědčily. Nezanedbatelné možnosti zlepšení jsou zejména v oblasti izolačních materiálů, které se používají k tepelné a hlukové izolaci skříní vozidel a v provedení vlastní izolace vozidla jako takovém a zajištění těsnosti zejména v oblasti podlah, stropů, oken a dveří. Zde je potřeba uvést, že některé používané izolační materiály

stárnutím ztrácí svoje zejména tepelně izolační vlastnosti a bylo by vhodné, aby při zadání ze strany provozovatele vozů a následně i ze strany výrobců a modernizátorů vozidel byla této skutečnosti věnována patřičná pozornost. Tyto materiály musí samozřejmě odpovídat rovněž požadavkům z hlediska hygienického, požární odolnosti a odolnosti proti absorpci vody.

U vozů restauračních se připouští spotřeba elektrické energie zvýšená navíc o 50kVA na spotřebiče instalované v kuchyni. V tomto smyslu bývá zvýšen i maximální výkon centrálního zdroje energie na cca 100kVA. U výstupních střídačů 400V se jedná zpravidla o jeden střídač výkonu cca 30kVA navíc a zdvojené vozidlové baterii odpovídá i rovněž zdvojená nabíječka. Z hlediska spotřebičů se jedná především o zvýšené nároky na ventilaci a ošetření vzduchu v kuchyni, zajištění kvalitní vody z hlediska hygieny, napájení různých kuchyňských spotřebičů jako jsou např. sporáky s indukčním ohřevem, konvektomaty, umývače nádobí, mikrovlnné trouby, kávovary apod. Vesměs jde o spotřebiče s poměrně vysokými nároky na okamžitý, ale časově omezený odběr. Samostatným problémem jsou potom chladničky a mrazničky, u kterých je mnohdy vyžadován nepřetržitý provoz, který musí být řešen v případě odpojení CZE, resp. napájení z VN, napájením prostřednictvím měniče přímo z vozidlové baterie.

Předpoklad ke snížení nároků na spotřebu elektrické energie a zlepšení energetické bilance speciálních vozů souvisí především s energetickou náročností jednotlivých spotřebičů a dílčí řešení lze hledat v racionálním řízení zapínání spotřebičů tak, aby přitom nebyla omezena funkčnost el. zařízení vozu, zejména kuchyňských a jiných důležitých spotřebičů.

## **Závěr**

Všeobecně se dnes ve světě hledají cesty jak uspořit energii, zejména elektrickou. U vlaků, resp. vozů osobní přepravy, je tato skutečnost umocněna ještě omezenými technickými možnostmi, resp. požadavkem na omezení příkonu elektrické energie dodávaného do vozu přes vysokonapěťový průběžný kabel vlaku v protikladu s rostoucími požadavky na zvyšování úrovně a kultury cestování. Tyto, ve své podstatě protichůdné požadavky jsou a i v budoucnu budou provozovatelé i výrobci, příp. modernizátoři vozidel nuceni řešit, a to i za cenu zvýšení pořizovacích nákladů (např. použitím kvalitativně lepších izolačních materiálů, oken apod.).

Snížená spotřeba elektrické energie železničních kolejových vozidel má samozřejmě kladný dopad i na ochranu životního prostředí a sníženou tvorbu přepočteného CO<sub>2</sub>.

## Literatura

- [1] Vyhláška UIC 550 Power supply installations for passenger stock, 11th edition, April 2005
- [2] Vyhláška UIC 553 Heating, ventilation and air-conditioning in coaches, 6th edition, February 2004
- [3] Vyhláška UIC 553-1 Heating, ventilation and air-conditioning in coaches-Standard tests, 2nd edition, October 2005
- [4] Vyhláška UIC 567 General provisions for coaches , 2nd edition, November 2004
- [5] Dokumentace osobních vozů ČD,a.s., zejména vozů ř. Ampz, Bmz, WRmz, WLABmz
- [6] Závěrečná konference projektu Railenergy, 25th November 2010, Brusel

Praha, říjen 2012

Lektoroval: Ing. Jiří Konečný  
ČD, a.s.