

Ing. Pavel DOUBEK, Ph.D.
Ingersoll Rand Equipment
Manufacturing
Centrum výzkumu a vývoje Praha

Klimatizace kolejových vozidel

Air Conditioning for Rail Vehicles

Recenzent

Ing. Václav Šimánek

V současnosti se stále zvyšují nároky na komfort v dopravních prostředcích. Tento trend se uplatňuje nejen u rychlovlaků a běžných železničních vozů, ale také u tramvají a vozů metra. Klimatizační zařízení prostoru cestujících a kabiny řidiče je již několik let standardním vybavením vozů v zemích s teplým klimatem. V zemích s mírným klimatem, např. ve střední Evropě, se často volí kombinace klimatizační jednotky pro kabini řidiče s topnou a větrací jednotkou prostoru cestujících i z důvodů úspor pořizovacích a provozních nákladů.

Klíčová slova: mobilní klimatizace, kolejová vozidla, dynamické namáhání, elektrické napájení

Currently, the demand for providing comfort conditions in rail vehicles is growing. This trend is felt to exist not only for express and commuter trains, but also for trams and underground cars. Passenger compartments and driver's cabin air conditioning has been used as standard equipment of cars in warm climate countries for some time. In the mild climate countries, e. g. in Central Europe, a combination of a driver's cab air conditioning unit with a heating and ventilation unit for passenger compartments has often been used, namely to reduce the acquisition and operating costs.

Keywords: mobile airconditioning (MAC), rail vehicles, dynamic loading, power supply

ÚVOD

Na rozdíl od klimatizačních zařízení budov, musí vlakové klimatizace splňovat především podmínky dynamického namáhání při jízdě vozu a dále musí respektovat způsob elektrického napájení nejčastěji z frekvenčního měniče. Velký důraz kladou provozovatelé vozů na spolehlivost zařízení. Porucha klimatizace je často považována za kritickou chybu, která je důvodem odstavení celé železniční soupravy. Projektovaná životnost jednotek je převážně 30 let. V poslední době je naprostě nezbytné, aby veškerá zařízení vlaku byla napojena na jeho komunikační systém a mohla mu předávat kompletní provozní a diagnostické údaje. V nejposlední řadě uživatelé vyžadují od klimatizace schopnost rychlé reakce na změnu stavu v klimatizovaném prostoru a přesnost regulace stavových veličin (teplota, vlhkost, rychlosť proudění, obsah CO₂).

MECHANICKÁ KONSTRUKCE KLIMATIZAČNÍCH JEDNOTEK

Celá jednotka i její komponenty jsou navrhovány tak, aby splňovaly požadavky dynamického namáhání (vibrace a rázy) podle normy IEC 61373. Hodnoty namáhání se liší podle umístění jednotky na voze (nástrešní, podvozkové). Namáhání definované touto normou nemusí vždy odpovídat skutečnosti. To platí například pro železniční síť v jihovýchodní Asii. Každý typ jednotky musí projít úspěšně vibrační zkouškou.

Provozní podmínky popisuje norma EN 50125 a dělí je do tří dle různých kategorií, jako jsou pružnost, teplota, vlhkost apod. Rám a kryty jednotek se vyrábějí z nerezavějící oceli nebo ze slitin hliníku. Svařovací proces se podrobně



Obr. 1 Klimatizované tramvaje pro ZOH 2002 v Salt Lake City, USA

sleduje, nejčastěji dle DIN 6700. Díly, které jsou vystaveny povětrnosti, se zkouší v solné mlze. Minimální požadovaná doba zkoušky je 700 hodin.

Protože téměř každý provozovatel požaduje trochu jiný vůz a národní předpisy jsou velice rozdílné, vyvíjí se skoro pro každou aplikaci nový typ klimatizační jednotky. Proto se velká část konstrukční práce venuje začlenění jednotky do zástavby vozu. Hmotnost, zastavěný prostor a výška jednotky hrají významnou roli při návrhu a výběru dodavatele.

Velice důležitou podmínkou pro návrh vlakové klimatizační jednotky je nehořlavost nebo samozhášivost všech nekovových dílů. Požadavky na hořlavost, vývin kouře a jeho toxicitu upravují různé národní normy. Nejčastěji se ve specifikacích objevuje německá DIN 5510, francouzská NF F 16-101, 102 103 či americká NFPA 130. Bohužel se tyto normy zásadně liší

ve způsobu a hodnocení testu a jejich výsledky jsou vzájemně téměř nepřevoditelné. Nyní se připravuje společná evropská norma EN 45454. Její konečné znění je stále předmětem diskuzí a tudíž její oficiální vydání nelze v nejbližší době očekávat.

ELEKTRICKÁ KONCEPCE KLIMATIZAČNÍCH JEDNOTEK

Jednotky jsou napájeny nejčastěji z trakčních měničů, které transformují trakční napětí (převážně 750 V ss v tramvajové nebo 22 kV stř v železniční síti) na střídavé napájení. V Evropě se nejvíce používá 3 x 400 V, 50 Hz. Dále je velice obvyklé 3 x 460 V, 60 Hz, v USA pak 3 x 208 V nebo 3 x 230 V, 60 Hz. Klimatizační jednotky mohou být napájeny ze samostatného měniče nebo z více měničů. Velice často měnič napájí i další zařízení vozu, např. vzdutkový kompresor brzd, vodní čerpadlo aj.



Obr. 2 Vlaková klimatizační jednotka pro lehká kolejová vozidla s chladicím výkonem až 35 kW a topným výkonem do 24 kW

Tomu musí odpovídat způsob řízení startu jednotek tak, aby nedošlo k přetížení a výpadku měniče a aby byla zajištěna funkčnost zařízení s nejvyšší důležitostí. Motory v každé jednotce jsou spouštěny sekvenčně tak, aby rozběhové proudy jednotlivých motorů nezatížily zdroj na jednu.

Elektrická vytápění jsou často napájena přímo stejnosměrným trakčním napětím (750, 1500 a 3000V). Vytápění jsou chráněna proti přehřátí kombinací softwarových a hardwarových ochran. Poslední ochrana musí být hardwarová, která vyžaduje manuální zásah. Protože výstupní napětí měniče není ideálně sinusové, mají motory ventilátorů a kompresorů zesílenou izolaci vinutí. Motory odpovídají normě IEC 34, přísnější požadavky upravuje francouzská norma NF F 65-101. Kvůli bezpečnosti a správné funkci zařízení je navzájem softwarově a hardwarově blokován chod jednotlivých spotřebičů.

CHLADICÍ SYSTÉM

Vlakové klimatizační jednotky mají vzhledem k požadované vysoké spolehlivosti nejčastěji kompaktní hermetický okruh s co nejmenším počtem pájených spojů a přípojných míst pro měřicí zařízení. Šroubové spoje se nedoporučují kvůli vyšší pravděpodobnosti úniků chladiva. Systémy pracují s chladivy R 134a, R 407C nebo R 410A, která jsou v souladu s montrealským protokolem. V USA či jihovýchodní Asii se ještě můžeme setkat s novými jednotkami s chladivem R 22.

Jednotky podle chladicího výkonu obsahují jeden nebo dva okruhy. Místo dvou samostatných okruhů se také používá jeden okruh s tandemovým uspořádáním spirálových kompresorů. V transportních aplikacích se nedoporučují písotové kompresory z důvodu nižší odolnosti proti



Obr. 3 Klimatizované tramvaje v Manile, Filipíny

vibracím. Převážně se používají kompresory šroubové nebo spirálové (scroll, svíslé nebo vodorovné). Spirálové kompresory mají stejný chladicí výkon při nižší hmotnosti.

Chladicí okruh je opatřen analogovým měřením vypařovacího a kondenzačního tlaku a tlakovými spínači nízkého a vysokého tlaku. Výstupy těchto převodníků a spínačů vyhodnocuje řídicí program jednotky. Poslední ochranou okruhu je vypouštěcí ventil. Každý výměník je zkoušen na 1,5 násobek maximálního pracovního tlaku.

Přestože kompresory umožňují v určitém rozsahu plynulou regulaci chladicího výkonu, využívá se této možnosti pouze zřídka. Důvodem je především to, že měnič nenapájí pouze klimatizaci, ale také jiné systémy vlaku. Proto se často používá pouze jednoduchá regulace vypnuto/zapnuto. Pokud je nutná jemnější regulace výkonu, používá se přepouštění horkých par z výtlaku kompresoru za vstrikovací ventil výparníku. Podobný princip regulace nabízí šroubové kompresory již integrovaný, takže není nutné další potrubí. Další možnosti jsou, tzv. digitální spirálové kompresory, které řeší regulaci výkonu oddalováním spirál.

ZPŮSOB ŘÍZENÍ JEDNOTKY

U všech nových vozů nebo souprav je naprosto nezbytným požadavkem komunikace všech zařízení s hlavní řídicí jednotkou vozu nebo vlaku. K tomu se používá komunikace typu MVB, CAN nebo LonWorks. Řídicí mikroprocesorová jednotka klimatizace zajistuje její provoz v automatickém, nuceném nebo servisním režimu, monitoruje stav všech měřených veličin (teploty, vlhkost, CO₂, proudy), stav všech vstupů a výstupů. Na základě těchto informací a požadavků hlavní řídicí jednotka vlaku vyhodnocuje požadovaný provozní režim. Všechny hodnoty jsou každou vzorkovací periodou ukládány do paměti. Obsah paměti je možné využít pro stanovení případné poruchy.

Do paměti jsou ukládána i chybová hlášení. Chybová hlášení a vybrané veličiny jsou každou časovou periodou posílány do hlavní řídicí jednotky vlaku, kde jsou rozděleny do čtyř úrovní podle závažnosti a předávány řidiči tak, aby ho nerušily přílišné detaily, ale aby měl správný obrázek o stavu zařízení.

ŘÍZENÍ KOMFORTU V PROSTORU CESTUJICÍCH

Požadavky na komfort prostoru cestujících obsahují normy EN 14750 a UIC 553. Hlavním parametrem je teplota vzduchu v klimatizovaném prostoru. Ta bývá měřena buď jako jedna teplota cirkulačního vzduchu na vstupu do jednotky

nebo více teplot v několika místech klimatizovaného prostoru. Požadovaná teplota se řídí definovanou křivkou v závislosti na venkovní teplotě nebo je konstantní. Pro dosažení co nejmenší regulační odchylky se využívá PID regulátoru.

Termín „komfort“ či „tepelná pohoda“ se velice liší podle země či kultury. To co v Evropě považujeme za komfortní prostředí, by v USA či jiho-východní Asii bylo naprostě nepřijatelné a jednotka byla hodnocena jako nefunkční zařízení. Pro tyto kultury je naprostě samozřejmý vysoký teplotní rozdíl až 15 K a vysoká rychlosť proudění v místě cestujících.

S ohledem na specifické požadavky zákazníka je také navržen rozvod vzduchu. Nové vozy stále více využívají teplovzdušného vytápění namísto tradičních podlahových konvektorů. V takovém případě je kanálový systém rozšířen o podlahové rozvody vzduchu. Upravený vzduch potom do jednotlivých kanálů rozděluje klapky umístěné na výstupu z jednotky na základě provozního režimu tak, aby bylo zajištěno správné rozložení teplot ve voze. Aby v topném režimu nepřekročila rychlosť proudění vzduchu v klimatizovaném prostoru maximální hodnotu, používá se v jednotkách dvourychlostních ventilátorů.

Jednotky pracují s celkovým průtokem vzduchu daným požadovanou výměnou vzduchu v klimatizovaném prostoru, minimální a maximální teplotou vzduchu na výstupu z jednotky. Celkové průtok vzduchu tvoří směs cirkulačního a čerstvého vzduchu. Požadované dávky čerstvého vzduchu upravují výše uvedené normy. EN14750 předepisuje minimální dávky od $8 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{osoba})$ při chlazení až po $30 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{osoba})$ při větrání, počítáno na všechny cestující. UIC553 požaduje min. $20 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{osoba})$ při všech režimech, vztaženo pouze na místa pro sezení. Dávka čerstvého vzduchu se řídí podle venkovní teploty, pracovního nebo nuceného režimu. Klapky jsou často zavírány před vjezdem do tunelu nebo míjení vlaků kvůli tlakové vlně. Pro filtrace vzduchu se používají filtry ze syntetických vláken třídy G3 a G4 dle EN 779. Účinnější filtry se nepoužívají především kvůli vysoké tlakové ztrátě a nedostatku prostoru.

Celý klimatizační systém (jednotka včetně rozvodů vzduchu) musí být navržen tak, aby splnil přísné požadavky na hluk uvnitř vozu. Maximální povolené hodnoty akustického tlaku A ve výšce 1,6 m bývají 62 až 64 dB v tramvajích či vozech metra a 58 až 60 dB v železničních vozech. Uváděné hodnoty platí pro stojící vůz při chodu klimatizace a nutných napájecích systémů.

ŘÍZENÍ KOMFORTU V KABINĚ ŘIDIČE

Požadavky na komfort prostoru cestujících popisují normy EN 14813 a UIC 651. Řidič



Obr. 4 Klimatizované tramvaje v Záhřebu, Chorvatsko

si může volit požadovanou teplotu na ovládacím panelu. Stejně tak si může nastavit rychlosť a směr proudění vzduchu, podobně jako v automobilu. Normy požadují min. $30 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{osoba})$ čerstvého vzduchu při všech režimech. Jednotky dodávají 600 až $800 \text{ m}^3/\text{h}$ celkového průtoku vzduchu, z čehož 50 až $100 \text{ m}^3/\text{h}$ představuje čerstvý vzduch. Pro filtrace vzduchu se používají filtry ze syntetických vláken třídy G3 a G4 dle EN 779.

Maximální povolené hodnoty akustického tlaku A v místě hlavy řidiče bývají 62 dB měřeno ve stojícím voze.

ZÁVĚR

Klimatizační zařízení se stávají nedílnou součástí nových kolejových vozidel. Klimatizační systémy poskytují vysoký komfort pro cestující, a to nejen při dopravě na delší vzdálenosti. Bohužel železniční dopravu oproti automobilové značně znevýhodňuje neschopnost sestavení jednotných předpisů a naprostá neschopnost standardizace. S tím jsou spojené vysoké investiční náklady při vývoji a výrobě díky zákaznickým úpravám. ■



Obr. 5 Klimatizované tramvaje v Houstonu, USA