

Jan Stískal¹

Tepelná pohoda v drážních vozidlech

Klíčová slova: *tepelná pohoda, pohodlí, klimatizační jednotka, úspora energie, parametry prostředí*

Úvod

Tepelná pohoda je velmi citlivě vnímána cestujícími a ovlivňuje jejich celkový dojem z pobytu ve vozidle. Proto je nezbytné se jí zásadně věnovat. Pro definici tepelné pohody slouží několik parametrů prostředí, které popíšeme. Krátce se vrátíme do historie, nastíníme současný stav a naznačíme potenciální možnosti energetických úspor klimatizačních jednotek.

Nejdůležitější parametry prostředí

Firma VÚKV a.s. se zabývá výzkumem, vývojem a zkušebnictvím kolejových vozidel, jejich částí a dalších komponentů z oblasti dopravního strojírenství. Společnost navazuje na tradici Ringhofferových závodů a podílí se na řadě významných projektů, které nacházejí uplatnění v praxi. S produkty, na jejichž vzniku a uvedení do provozu se VÚKV a.s. aktivně podílela, je možné se setkat nejen v České republice, ale i v řadě dalších zemí po celém světě.

Útvar vývoje provádí komplexní technický návrh kolejových vozidel včetně nezbytných technických výpočtů. To se týká i návrhu systémů větrání, topení a klimatizace kolejových vozidel.

Systémy větrání, topení a klimatizace spoluvytváří „tepelnou pohodu“, nebo ještě obecněji „pohodlí“, v prostoru pro cestující i strojvedoucího. Pohodlí je definováno jako osobou vnímaný příjemný pocit klimatického prostředí. Vliv na pohodlí má:

- teplota vzduchu
- rychlost proudění vzduchu
- relativní vlhkost vzduchu
- teplota stěn

¹ Ing. Jan Stískal, narozen 1980, Studium ČVUT – Fakulta strojní, obor Dopravní a manipulační technika, zaměření Kolejová vozidla. Od roku 2005 VÚKV a.s., Vývoj kolejových vozidel se zaměřením na systémy větrání topení a klimatizace.

Normativní dokumenty vztahující se k parametrům prostředí železničních vozidel:

- a) EN 14750 Železniční aplikace - Klimatizace pro městská a příměstská kolejová vozidla
Pro běžná železniční vozidla dostačující. Parametry pohodlí jsou zde dostatečně popsány.
- b) EN 13129 Železniční aplikace - Klimatizace pro vozidla na přepravu cestujících na hlavních tratích
Je náročnější dodržet její požadavky oproti EN 14750. Vliv na spokojenost cestujících je diskutabilní.
- c) EN 14813 Železniční aplikace – Klimatizace stanoviště strojvedoucího/řidiče
Popisuje parametry pohodlí v kabině dostatečným způsobem.
- d) UIC 553 Větrání, vytápění, klimatizace
Není v definování parametrů prostředí tak komplexní jako EN 14750 a EN 14813.
- e) TSI LOC&PAS (EU) 1302/2014
Na území členských států EU je směrnice závazná. Řeší převážně otázku CO₂, ostatní parametry prostředí nekvantifikuje a jejich zadání je nutné stanovit jiným normativním dokumentem, nebo dohodou se zákazníkem.
- f) TSI SRT 1303/2014
Definuje pouze několik detailů provozu v tunelech délky 1-20 km.
- g) EN 45545 Drážní aplikace – Protipožární ochrana drážních vozidel
Zabývá se protipožární ochranou. Kromě nároků na použité materiály řeší i systém větrání, topení a klimatizace při požáru a požadavky na jeho funkce.
- h) ISO 19659-1 Železniční aplikace – Systémy topení, větrání a klimatizace pro drážní vozidla
V návrhu. Bude se zabývat spíše obecnou terminologií. Nelze použít pro kvantifikaci parametrů pohodlí.

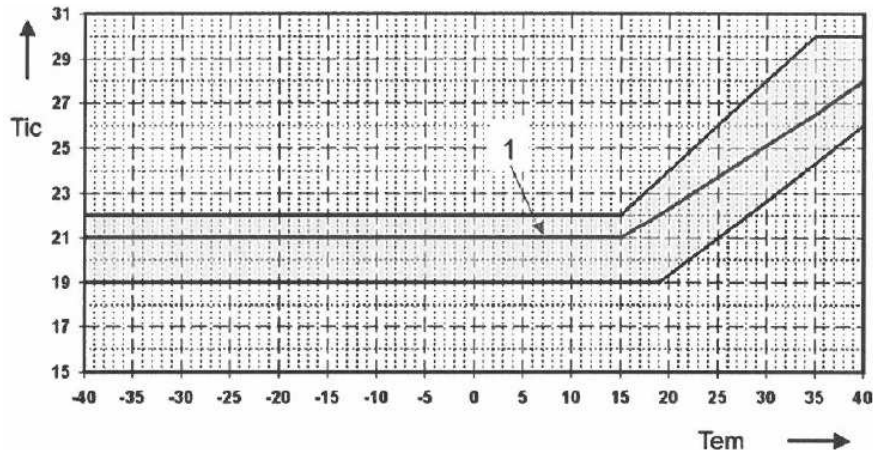
Kromě požadavků normativních dokumentů na tepelnou pohodu je podstatné i její vnímání cestujícími. Termín „tepelná pohoda“ či „komfort“ se velice liší podle země nebo kultury. Např. to, co v Evropě považujeme za komfortní prostředí, by v USA nebo v jihovýchodní Asii bylo naprosto nepřijatelné a kolejové vozidlo by bylo hodnoceno jako nefunkční. Pro tyto kultury je naprosto samozřejmý teplotní rozdíl až 15 K a vysoká rychlost proudění v prostoru pro cestující. Vždy je třeba přizpůsobit se v rámci legislativy závazné pro daný projekt i subjektivním potřebám cestujících v dané oblasti.

Subjektivní vnímání tepelné pohody je zásadní. Není možné uspokojit všechny cestující. Vždy je alespoň 5 % cestujících nespokojených s tepelnou pohodou. Běžný stav vhodně navrženého interiéru kolejového vozidla je 10 % nespokojených

cestujících a dle normy ČSN EN ISO 7730 je možné akceptovat až 20 % nespokojených osob s tepelnou pohodou v daném interiéru. Snahou by mělo být hledání optima spokojenosti cestujících. Například u teploty interiéru takovou, od níž nalevo i napravo počet spokojených cestujících klesá.

Jednotlivé parametry prostředí

Teplota vzduchu



Obrázek 1 - Přípustná oblast pro stanovení regulační křivky, doporučená křivka 1, kategorie A

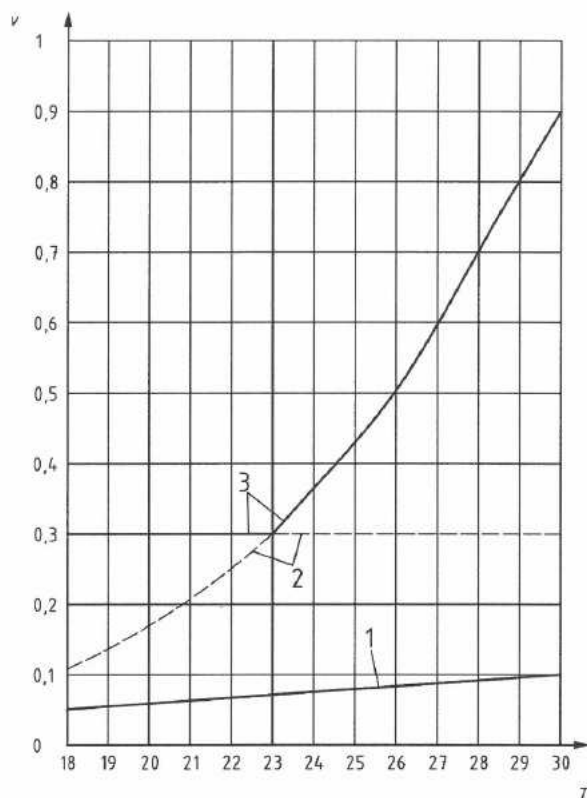
Teplota vzduchu je zadána dle vnější teploty oblastí grafu nebo funkcí. Dále jsou stanoveny maximální povolené rozdíly teplot v definovaných bodech v podélném směru vozidla a rozdíly vnitřních teplot vzduchu ve svislém průřezu. Příklad regulační křivky EN 14750 (obr. 1) je v poměrně dobré shodě s doporučením Státního zdravotního ústavu, který v našich podmínkách nedoporučuje při chlazení větší teplotní spád (rozdíl vnější a vnitřní teploty) než cca 5 °C. Navrhovaná křivka vede k vyšším teplotním spádům pouze při vnějších teplotách nad 34 °C.

Rychlost proudění vzduchu

Rychlost proudění vzduchu je předepsána maximální hodnotou (někdy i minimální) proudění vzduchu v m/s, nebo je dána grafem dle vnitřní teploty. Mezi minimální a maximální povolenou hodnotou je pro kabiny strojvedoucího velmi malý rozdíl. Rychlosti proudění v prostoru jsou velmi lokální a často posun anemometru o 5 cm znamená při měření o stovky procent jiné hodnoty. Otázkou je, zda by cestující příznivě nevnímali vyšší hodnoty alespoň do vnější teploty 25 °C. Vozidla se dělí dle EN 14750-1 i EN 13129-1 do dvou kategorií. Kategorie A má vyšší nároky na tepelnou pohodu. Zatřídění vozidla se provádí podle počtu stojících cestujících na metr čtvereční, podle průměrné jízdní doby cestujícího a průměrné doby mezi dvěma stanicemi. Kategorie B je spíše pro příměstská a regionální vozidla.

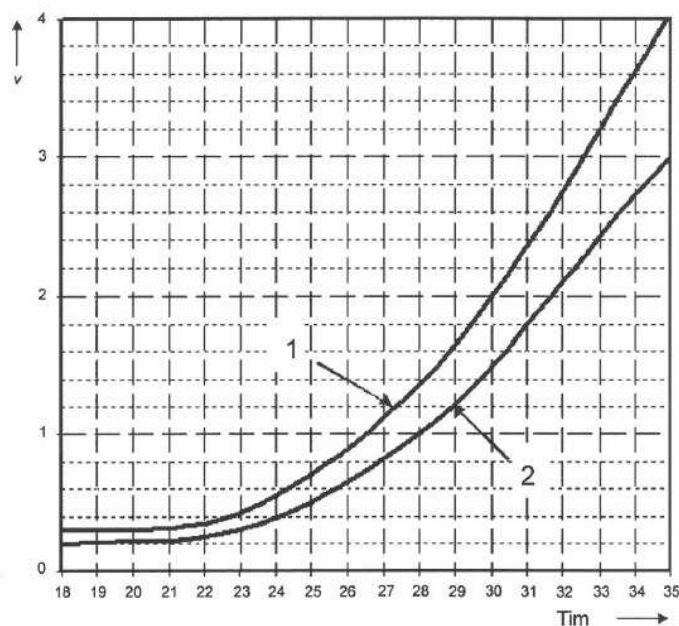
Dle EN 14813-1 se kabiny strojvedoucího třídí podle velikosti a typické doby nepřetržitého pobytu strojvedoucího na stanovišti rovněž do kategorie A a B. Kategorie A je určena pro hlavní tratě a regionální vlaky.

Pro kabinu je podle EN 14813-1 předepsán průběh zobrazený na obr. 2.



Obrázek 2 – 1 minimální rychlost proudění v kabině [m/s], 2 maximální rychlost proudění v kabině [m/s] (vozidla kategorie A), 3 – maximální rychlost proudění v kabině [m/s] (vozidla kategorie B) v závislosti na teplotě v bodě měření rychlosti proudění [°C]

Pro salón je podle EN 14750-1 předepsán průběh zobrazený na obr. 3.

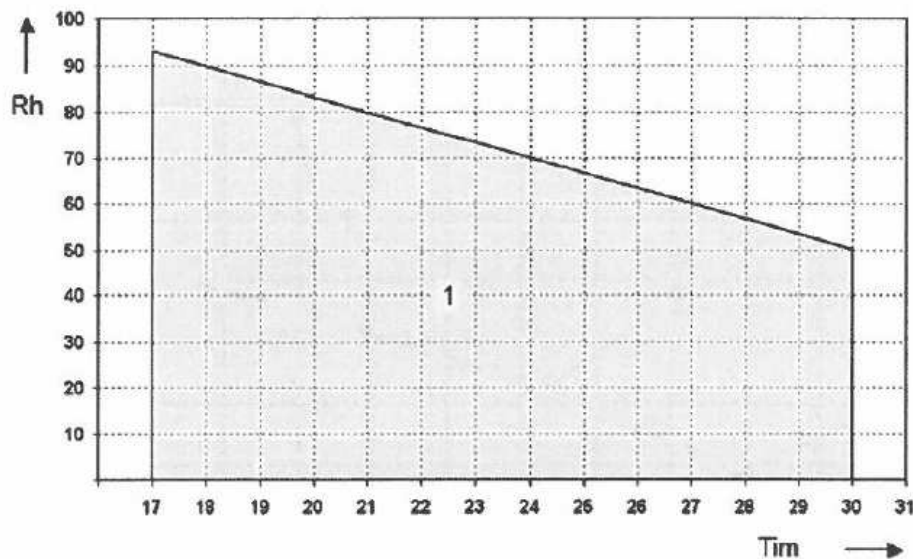


Obrázek 3 – Nejvyšší rychlosti proudění [m/s] v závislosti na průměrné vnitřní teplotě [°C] - salón vozidla, 1 kategorie B, 2 kategorie A

Relativní vlhkost vzduchu

Relativní vlhkost vzduchu je předepsána dle vnitřní teploty grafem. Měření vlhkosti nebývá požadováno v celém rozsahu teplot a režimů větrání, topení a klimatizace. Většinou je možné splnit požadavky bez dodatečného odvlhčování („reheat“). Při běžném kompresorovém chlazení dochází ke kondenzaci vlhkosti na výparníku, odkud je kondenzát odváděn na střechu vozidla nebo pod vozidlo. Dochází tak k částečnému odvlhčování dodávaného vzduchu, což je příznivé.

V normě EN 14750-1 je pro vozidla kategorie A uveden graf:



Obrázek 4 – Oblast relativní vlhkosti v [%] dle průměrné vnitřní teploty pro vozidla kategorie A

Teplota stěn

Maximální dotyková teplota vnitřních povrchů stěn včetně nekrytých částí topných agregátů je většinou 65 °C (někdy 60 °C). Maximální teplota vzduchu přiváděného až k cestujícím nesmí překročit 45 °C. Dále jsou stanoveny maximální rozdíly teplot stěn, stropů, oken a dveří od průměrné vnitřní teploty.

Rovněž je nutné zabránit namrzání nástupních prostor i případného výsuvného schůdku. Zde se i na železničních vozidlech čím dál častěji uplatňuje doplňkový elektrický ohřev podobně jako u podlah kabiny nebo částí podlahy nad podvozkem.

Koncentrace CO₂

Je předepsán přívod dostatečného množství čerstvého (venkovního) vzduchu na osobu. Pro cestující je požadováno 8 až 15 m³/h čerstvého vzduchu. Pro kabinu strojvedoucího je to 30 m³/h na osobu, avšak kabina je nejčastěji uvažována pro 2 osoby, tedy 60 m³/h. Koncentrace CO₂ při plně obsazeném voze by měla být do 5 000 ppm v běžném režimu. Někteří zákazníci požadují pro kabinu strojvedoucího v běžném režimu nižší hodnoty, například do 1 000 ppm. Rovněž bývá stanoveno, po jak dlouhou dobu musí být tato hodnota dodržena v režimu nouzové ventilace.

U nasávaného vnějšího vzduchu se uvažuje obsah CO₂ 450 ppm. Dále se uvažuje produkce zhruba 17,5 l/h CO₂ na osobu. Tyto hodnoty nejsou z pohledu subjektivního vnímání člověkem nijak přehnané a například Státní zdravotní ústav doporučuje obsah CO₂ do 1 500 ppm, je-li to možné.

Hluk

Hlavní zdroje hluku jsou: činnost dílčích zařízení, trakční pohon a navazující zařízení, jízda po koleji a aerodynamické efekty. Z pohledu cestujících je v otázce hluku zásadní hluk oběhového ventilátoru klimatizační jednotky. Hluk se šíří vzduchovými kanály do prostoru pro cestující. I kompresor může být zdrojem vnitřního hluku nebo vibrací. Větší riziko přináší kompresory s větší hmotností pohybujících se hmot. Pokud jsou kompresory pístové, je vhodnější víceválcové provedení. V případě frekvenčního řízení kompresoru je možné nevhodné frekvence potlačit. Samotné kompresory jsou ve skříni uchyceny pružně, včetně napojení chladicího okruhu. V některých případech je vypružené i uchycení klimatizační jednotky ke střeše. Kompresor je tedy dvakrát vypružený.

Z pohledu vnitřního hluku je podstatným zdrojem oběhový ventilátor klimatizační jednotky a aerodynamický hluk ve vzduchových kanálech. Ne všude je pro vzduchové kanály dostatek místa a jejich průřezy jsou často omezeny nosnou strukturou hrubé stavby. Vhodné je vzduchové kanály, tam kde je to možné, izolovat pomocí 20 mm tepelně-hlukové izolace. Někteří zákazníci požadují čistý kovový povrch vzduchových kanálů pro snadné čištění. To je z pohledu šíření hluku nevhodné. Čím dál větší tlak na spotřebu energie a tedy přeneseně i hmotnost vozidla vytváří tlak na snížení hmotnosti i u systému větrání, topení a klimatizace. Proto se objevují kanály z lehkých desek na bázi skleněného vlákna a pryskyřice, nebo textilní vzduchové kanály. Textilní vzduchové kanály jsou v antibakteriálním nehořlavém provedení se zátěrem z vnitřní strany a je možné je udržovat praním.

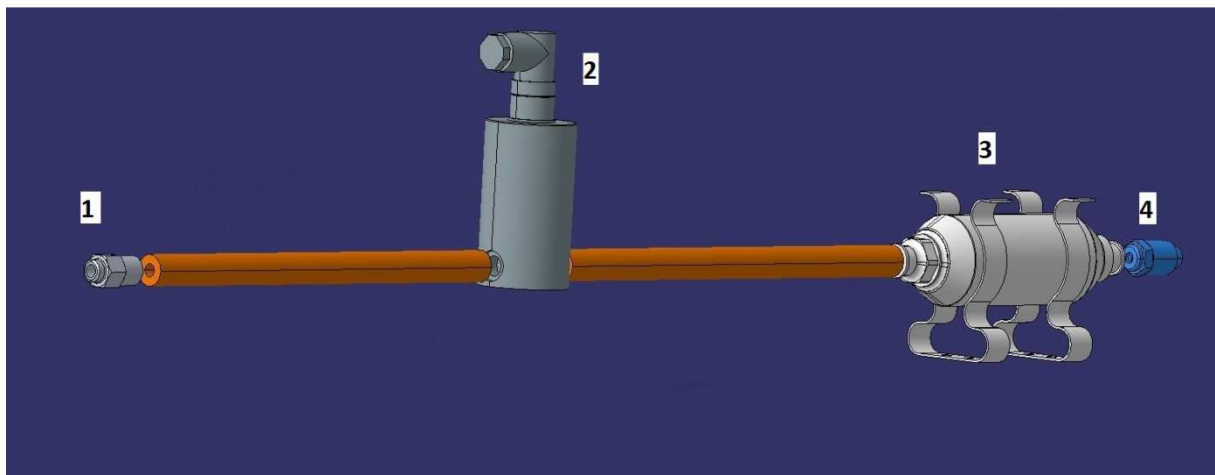
Tlak

Tlakotěsné skříně vysokorychlostních vozidel v součinnosti se systémem ochrany proti tlakovým rázům (PWP – Pressure Wave Protection) slouží k eliminování nepříjemných tlakových rázů při vjezdu do tunelu, míjení se s protijedoucí soupravou nebo míjení dalších staveb a zařízení v okolí tratí. Nároky na tlakotěsnost jsou vyjadřovány pomocí statické a dynamické hodnoty T (Tau) v sekundách. Ta popisuje schopnost vozidla tlumit okolní tlakové vlny tak, aby neprocházely do interiéru vozidla a nepříznivě neovlivňovaly cestující. Existují systémy klimatizace s pasivní nebo aktivní tlakovou ochranou.

Pokud je to možné, používají se pouze pasivní. Ty po dobu nepříznivých tlakových poměrů v okolí vozidla uzavřou buďto všechny přívody čerstvého vzduchu a výstupy odpadního vzduchu pomocí pneumatické klapky na celé jednotce, nebo pouze na jednom voze. Pokud PWP systém funguje pro celou jednotku, ušetří se řada senzorů a po jednotce je rozvedena linka (elektrický vodič), která vyhlašuje tlakový poplach, který uzavře všechny klapky. Minimálně na začátku a na konci soupravy musí být na levé i pravé bočnici umístěn tlakový senzor. Ten je tvořen otvorem v bočnici (průměr cca 8 mm), který je trubičkou spojen s tlakovým převodníkem. Do tlakového převodníku je pomocí vzdušníku a vyrovnávací nádoby rovněž zaveden vzduch

o tlaku interiéru vozidla. Převodník převádí tlakové signály na elektrické. Porovnává vnitřní a vnější tlak a v případě velkých rozdílů vyhlásí poplach. Rovněž je vyhodnocován časový průběh vnějšího tlaku a i z něj je vyhlášen poplach. Kabina strojvedoucího může mít společné senzory i linku. Do kabiny nebo klimatizační jednotky kabiny je vždy přívod čerstvého vnějšího vzduchu vybaven pneumatickou klapkou. Odpadní vzduch z kabiny může směřovat do salónu, čímž se ušetří jedna klapka odpadního vzduchu. Kabina musí potom být vůči salónu mírně přetlaková.

Rychlost míjení může být i 600 km/h a tlakové vlny, které by působily na cestující, jsou z pohledu pohodlí nevhodné. V případě, že by byly klapky delší dobu zavřené, automaticky se otevřou, i když tlakový poplach trvá. Dostatečné množství čerstvého vzduchu, respektive nízká hladina CO₂, je hygienický požadavek, který je nadřazen požadavku tlakového komfortu. Délka zavření klapky může být omezena například na 5 minut. Záleží na analýze CO₂. U vozidel vybavených PWP systémem je vhodné osadit do salónu čidla hladiny CO₂. U vysokorychlostních vozidel je to povinné. Tyto senzory mohou pomáhat v řízení množství čerstvého vzduchu na reálnou obsazenost, respektive na reálný stav hladiny CO₂. Tím lze ušetřit energii, protože není nutné ohřívat či chladit množství čerstvého vzduchu pro celkovou obsazenost vozidla. Řízení klimatizace na reálnou obsazenost cestujícími kromě energie může při nižší obsazenosti i snížit hluk (otáčky ventilátorů). Informaci o obsazenosti je však možné získat například z optických senzorů počítání cestujících v nástupním prostoru. Optimální je nenavyšovat množství senzorů a elektroniky a využít na vozidle již existující systém, například informace ze sekundárního vzduchového vypružení, které se někdy využívají i pro brzdu. U vozidel s nízkou hmotností a vysokou obsaditelností, například u tramvají, je možnost získat takové informace i z řízení trakce.



Obrázek 5 – PWP systém – 1 čidlo vnějšího tlaku, 2 tlakový převodník, 3 vyrovnávací nádoba, 4 vzdušník vnitřního tlaku

Klimatické zóny

Většina norem stanovuje výpočet výkonu topení/klimatizace a někdy i parametry pohodlí dle klimatických zón. Státy jsou začleněny do klimatických zón I, II, III, zvláště pro zimu a pro léto. Česká republika je v zimě i v létě zařazena do zóny II.

Řada provozů není lehce definovatelná jednou ze tří klimatických zón a potřebuje dodefinovat další parametry podstatné pro systém větrání, topení a klimatizace. Může jít o podíl prachových částic či písku ve vzduchu. Problém je i velký podíl soli v přímořských oblastech, silný a nárazový vítr, větší zatížení solární radiací než je předepsáno pro Zónu I, silné UV záření nebo rychlé změny teploty při východu a západu slunce. Z těchto změn může plynout vyšší potřeba topného a chladivého výkonu, než z udržení teplotního stavu v návrhovém bodě nebo požadovaného času předtopení a předchlazení.

Řízení tepelné pohody v salónu

Pro spokojenost cestujících je třeba nejen instalovat dostatečný topný/chladivý výkon a zajistit potřebný výkon ventilátoru, ale je také nutné tepelnou pohodu správně řídit. Zdá se, že vhodnější volbou je automatický režim. Automatický režim má informace o vnější teplotě a o vnitřních teplotách v jednotlivých částech vozidla. Dle těchto informací je schopen pro danou část salónu zvolit optimální řídicí pokyn. Je vhodné umožnit korekci alespoň teploty nebo i ventilačního stupně vlakovému personálu. Snahou moderních vozidel je minimalizace technologických prostor a maximální možný prostor pro cestující. Proto je vhodné řídit tepelnou pohodu, osvětlení a další funkce vlakovým personálem z neobsazené kabiny a v salónu nevytvářet specifický ovládací prostor. Malý kontrolní panel v nástupním prostoru je akceptovatelný.

Aktuálním trendem jsou z hlediska hmotnosti, obsaditelnosti, ceny a bezpečnosti velkoprostorové vozy a jednotky. V takovém uspořádání je individuální nastavení systému větrání, topení a klimatizace nemožné. V oddílovém uspořádání se požadavek na tepelnou pohodu řídí pouze malým počtem cestujících a je tedy snazší nalézt kompromis. Ve velkoprostorových vozech je vhodné ponechat alespoň minimální možnost ovlivnění tepelné pohody cestujícím. Vhodným prvkem jsou například individuálně nastavitelné sluneční clony. Kromě své funkce jako takové umožňují cestujícímu aktivně ovlivnit stav prostředí, což může působit z psychologického hlediska pozitivně.

Kabiny strojvedoucího je vhodné řešit s vysokou možností individuálního nastavení. Jedná se o pracovní prostředí s delší dobou pobytu. Vhodné je nastavení teploty, stupně ventilace, směru proudění. Topení v podnožce i podlaze rovněž zvyšuje komfort. Poloha sluneční rolety by neměla ovlivňovat zásadně směr proudění a v režimech topení i chlazení musí být možnost ofukování čelního okna. Alespoň v režimu topení jsou vhodné i výdechy na boční okna kabiny, nejsou-li okna součástí nástupních dveří kabiny.

Podlahové topení je nejen doplňkem zajišťujícím celkový topný výkon, ale pomáhá zároveň řešit lokální problémy povrchových teplot a vertikální rozvrstvení teplot. Přitom teploty nad podlahou bývají kritické. Pro vyhřívání podlahy se používá několik odlišných technologií. Do překližkové podlahy je možné vyfrézovat drážky a ty osadit topným kabelem. Pod vrchní vrstvy podlahy se používá plech, který rozvádí teplo a snižuje vliv horkých lokálních míst. Hliníková podlaha z protlačovaného panelu může mít přímo v sobě topný kabel. Na překližkové i hliníkové podlahy se dá použít pod podlahovou krytinu topná fólie. Ta bývá zalitá v silikonu a topí rovnoměrněji. I nad ní se používá roznášecí plech, který ji chrání před mechanickým poškozením.

Nově se objevují i kompozitní sendvičové podlahy s integrovaným topením. Často obsahují pěnové jádro, které má dobré tepelné i hlukové vlastnosti.

Historie zajišťování tepelné pohody v salónu kolejového vozidla

Historicky byla tepelná pohoda kolejových vozidel řešena nejrůznějším provedením otevíratelných oken. Vzduch z otevřených oken proudí vnitřním prostorem vozidla nerovnoměrně, přičemž část cestujících trpí průvanem. Novodobější vývoj směřuje od celospouštěcích přes polospuštěcí až k výklopným oknům. Cesta tohoto vývoje je motivována spíše bezpečností a zvyšující se rychlostí kolejových vozidel než tepelnou pohodou.

Ventilace bývala dříve doplněna o ventilační mřížky nebo ventilátory poháněné prouděním nad střechou vozidla. U vozidel s maximální rychlostí od 160 km/h jsou potom okna pevná, vybavena maximálně nouzovou ventilační částí na krajích každého oddílu. Tato část bývá uzamykatelná.

Topení se od klasických individuálních kamen v jednotlivých vozech či oddílech posunulo přes parní vytápění k ohřevu elektrickému u vozidel závislé trakce a k ohřevu teplovodnímu či kombinovanému u vozidel nezávislé trakce. Elektrický topný blok je vždy obsažen i ve ventilační jednotce, dnes nejčastěji i klimatizační jednotce. Nasávaný čerstvý vzduch je smíšen s recirkulačním a filtrován. Následuje chlazení nebo ohřev. Ohřev je nutný, aby vzduch vstupující do salónu neměl nepříjemně nízkou teplotu. Teplota vzduchu vstupujícího do salónu by neměla klesnout za žádných okolností pod 12 °C. Do střešních agregátů se umísťuje přibližně topný výkon, který pokrývá ztrátu větráním a infiltrací. Ohřátý vzduch stoupá přirozeně vzhůru a tak je výhodnější umístit topné zdroje co nejbližší podlaze. Pro vzduchovody od střešních klimatizačních jednotek k podlaze nebývá dostatečný prostor.

Levným řešením topného zdroje ve spodní části salónu jsou konvekční topidla podél bočních stěn. Takové řešení je zároveň tiché, protože neobsahuje ventilátor. Pokud by však topný kanál konvekčního topení svým rozměrem omezoval cestující sedící u oken, je vhodnější použít teplovzdušné agregáty v konzolách sedadel. Ventilátory topných agregátů pod sedadly lze použít při vysokých letních teplotách k rozprouzení spodních vrstev vzduchu v salónu. Většinou je nutné doplnit další teplovzdušné agregáty do specifických prostor, jako jsou toalety, nástupní prostory nebo oblasti přechodových měchů a oblasti jim přilehlé.

Ve spodní části salónu je instalovaný topný výkon pokrývající ztráty prostupem tepla skříní a další méně významné ztráty. Pro teplejší klimatické podmínky je nutné větrat, nebo chladit i další technologické prostory. Ventilace salónu i kabiny musí být v případě detekce požáru vypnuta. I v samotných klimatizačních agregátech bývají umístěna kouřová čidla. V místech, kde se může vyskytnout kondenzace, vodní mlha, prach a podobně, se potom používají pro detekci požáru teplotní čidla. Někdy je požadován i zhasací systém v technologických prostorech nebo i salónu a kabině vozidla. Ten může obsahovat patrony zhasacího plynu nebo rozvádět hasicí vodu.

Moderní vozidla

U nízkopodlažních vozidel je možné do interiéru umístit pouze menší agregáty. Nemožnost umístit objemnější agregát pod podlahu vede k instalaci klimatizačního zařízení na střeše. To je výhodné pro přívod chladného vzduchu vzhledem k přirozenému klesání chladného a stoupání ohřátého vzduchu. Pro přívod ohřátého vzduchu není podstropní kanál optimální. Moderní vozidla nabízejí prostorný bohatě prosklený salón, který není pro zpracování tepelné pohody jednoduchou úlohou. Pokud to koncepce vozidla umožňuje, je vhodné část ochlazeného vzduchu přivádět nad okna, nebo alespoň k oknům směřovat.

Se zvyšující se rychlostí kolejových vozidel hraje čím dál větší roli, i pro systémy větrání, topení a klimatizace, aerodynamika. Pro sání čerstvého vzduchu je potřeba najít na vozidle místo odkud by se nenasávalo větší množství vody a sněhu. Je potřeba věnovat pozornost množství prachu a jiných nečistot v místě sání. Sáním se nesmí volně šířit vnější hluk. Deklarované minimální množství čerstvého vnějšího vzduchu musíme být schopni nasát i při jízdě maximální rychlostí oběma směry s uvažováním větru a filtrů na konci svojí životnosti. Sání nesmí být v místech, kde vzniká jízdou podtlak, díky kterému by již použitý ventilátor nebyl schopen nasát minimální potřebné množství čerstvého vzduchu. Optimální je umístění v tlakově neutrální oblasti. Kondenzéry klimatizací mají vstup a výstup vzduchu. Ventilátor musí kondenzér zásobovat dostatečným množstvím chladicího vzduchu opět při všech možných aerodynamických jevech v oblasti sání a výdechu způsobených jízdou a větrem. Výhodou je umístění výstupu vzduchu do mírně podtlakové oblasti tak, aby podtlak ventilátoru napomáhal. Při použití axiálního ventilátoru na výstupu je možné toho dosáhnout umístěním výstupní mřížky do prohlubně nebo za uměle vytvořenou odtrhovou hranu - spoiler. Sledovaným parametrem pro aerodynamiku vstupu a výstupu kondenzéru je vzájemný rozdíl tlaku. Problémy se sáním a výdechem vzduchu se netýkají pouze vysokorychlostních vozidel a nastávají výrazněji již zhruba při rychlosti jízdy 160 km/h. Další sledovanou oblastí je vzájemné tepelné ovlivnění klimatizačních jednotek a zařízení v sousedství. To je třeba sledovat nejen při jízdě maximální rychlostí, větru, ale i při jízdě v tunelu. Často jsou v sousedství statické měniče, trakční měniče, brzdové odporňíky, výfuky a další zdroje tepla. I samotná jednotka může v případě chybného návrhu tepelně ovlivňovat sama sebe například nasáváním čerstvého vzduchu ohřátého v kondenzéru. Z těchto důvodů je potřeba proudění věnovat zvýšenou pozornost a provádět CFD (Computation Fluid Dynamics) analýzu, jak vnějšího proudění (obtékání vozidla), tak pro klimatizace vzduchové kanály.

Klimatizace v kolejovém vozidle

U vozidel pro hlavní tratě jsou nová i rekonstruovaná vozidla většinou klimatizovaná. Pro rychlosti 160 km/h a výš je to vzhledem k nemožnosti otevírat okna nutné. V regionální dopravě to ještě není tak běžné zejména u rekonstruovaných vozidel. Regionální vozidla mají nižší rychlost, častější staničení a předpokládáme v nich kratší pobyt cestujících. Člověk se na chladnější prostředí po nějakou dobu adaptuje a stejně to funguje po vystoupení z klimatizovaného vozidla.

Je klimatizace synonymem pro komfort?

Také v ČR je dokázáno, že nová komfortní vozidla jsou schopna přilákat na železnici více zákazníků z řad individuální automobilové dopravy. I když jsou vozy klimatizované, běžnému cestujícímu nezáleží konkrétně na přítomnosti klimatizačního zařízení, ale na celém souboru parametrů komfortu. Snahou by tedy mělo být zajistit pro cestující dostatečný komfort celkově.

Problémy klimatizovaných salónů

Samotná klimatizační jednotka je oproti jednotce pouze topné a ventilační hlučnější. Je zde navíc alespoň jeden kompresor a ventilátor kondenzátoru. Hlavní oběžný ventilátor má vyšší průtok. V salónu je navíc sání vzduchu do recirkulačního kanálu jakožto další zdroj hluku. Vyšší průtoky vzduchu vytváří aerodynamický hluk. Pokud bychom brali celý objem čerstvého vzduchu o vnější teplotě, nejsme při rozumných rozměrech, hmotnostech a ceně schopni dosáhnout požadovaného teplotního spádu 6 °C. Proto velká část vzduchu cirkuluje. Čerstvého vzduchu je v klimatizovaném salónu většinou méně. Přestože klimatizované salóny plní hygienické i železniční normy pro dodávané množství čerstvého vzduchu, je ho méně než při použití ventilačních jednotek či náporového větrání. Řada cestujících má potom nepříjemný pocit vydýchaného vzduchu. Pokud se jedná o vozidla pro hlavní tratě, kde je menší počet cestujících a menší počet zastávek (ztráty otevřenými dveřmi), je klimatizace nejen účinná, ale tím i lehká a levná.

Šetrnost k životnímu prostředí a možné úspory elektrické energie

Čím dál častěji se v souvislosti se zařízením pro větrání topení a klimatizace otevírá otázka šetrnosti vůči životnímu prostředí a možnosti úspor energie. Nejčastějším chladivem v klimatizacích kolejových vozidel je chladivo R134a. Někdy se používá vícesložkové chladivo R407c, které umožňuje vyšší chladivý výkon při stejném kompresoru. Jeho likvidace je však složitější. Obě tato chladiva jsou již v Evropě u osobních automobilů zakázána a podobné kroky se chystají v železničních klimatizacích. Za ekologické je považováno chlazení na bázi CO₂ nebo s použitím chladiva HFO 1234-yf vyráběného firmou DuPont. U chladiva HFO 1234-yf se spekuluje o jeho bezpečí. Proti tomuto chladivu protestují někteří výrobci osobních automobilů, kteří tvrdí, že za určitých teplot a tlaků, které mohou při nehodě automobilu nastat, je chladivo nebezpečné až výbušné. Jisté je, že cena tohoto chladiva je více než trojnásobná oproti současným chladivům. Výhodou je, že chladicí systémy, které s ním pracují, jsou podobně dimenzované jako stávající systémy. Klimatizace s chlazením na bázi CO₂ jsou velmi těžké, objemné a stejně jako u chladiva HFO 1234-yf dražší. Pracují s násobně vyššími tlaky, což nebylo dosud obvyklé. Otázkou je, zda nebudou legislativně problematické a nebudou potřebovat revize obdobně jako tlakové nádoby.

Ani jedno z nových chladiv bohužel nevede cestou lehčí, jednodušší nebo levnější klimatizace, na což se budeme muset připravit i v železniční technice. Většina zákazníků požaduje stále původní chladiva. Některé požadavky zákazníků na šetrnost k životnímu prostředí se zdají až přehnané, například dvojnásobné snímání vysokého tlaku v chladicím okruhu, nahrazující pojistný ventil. Jakýkoliv únik chladiva je údajně nešetrný k životnímu prostředí. Otázkou je, zda není mechanický ventil

důležitým bezpečnostním prvkem s vyšší důležitostí než riziko úniku chladiva. V případě požáru odstaveného vozidla v depu jsou oba stupně sledování vysokého tlaku v okruhu chladiva nefunkční a při růstu teploty a tlaku chladiva může dojít až k explozi některé části chladicího okruhu. Chladivo se potom stejně dostane do okolí.

Dále jsou popsány možné oblasti úspor energie klimatizačních systémů kolejových vozidel. Některé nepřinášejí velkou perspektivu, jiné jsou zásadní a jejich aplikace je vhodná.

Úspory energie klimatizačních zařízení

Úspory ve snížení normativních požadavků

- Úspora opožděným nástupem chlazení/topení
V rozporu s normativními předpisy, ohrožuje komfort, snadno proveditelné.
- Úspora snížením množství čerstvého vzduchu na osobu
V rozporu s normativními předpisy (včetně závazných). Menší množství vzduchu již většina osob vnímá jako „vydýchaný“ vzduch. Snižování množství čerstvého vzduchu pod úroveň norem již není vhodné.

Úspory založené na subjektivním pocitu

- Úspora změnou barvy osvětlení
Teplé barvy osvětlení v zimě a chladné barvy v létě změny subjektivní vnímání teploty údajně až o 2 °C. Změna regulační křivky není v rozporu se závaznou legislativou, vyžaduje souhlas provozovatele vozidla.
- Úspora použitými materiály
Pro stojícího cestujícího je zásadním vjemem kontakt se záchytnou tyčí. Sedící cestující podobně intenzivně vnímá kontakt se sedadlem. Materiálem se dá navodit pocit tepelné pohody i při mírně posunutých regulačních křivkách.

Úspory řízením klimatizace

- Úspora úpravou množství čerstvého vzduchu na reálnou obsazenost
Množství čerstvého vzduchu nevychází z maximální obsazenosti, ale reálného obsazení salónu. Není v rozporu s normativními dokumenty a přináší zásadní úsporu. Vyžaduje plynule měnitelný poměr čerstvého a recirkulačního vzduchu a informaci o obsazenosti salónu.
- Úspora inteligentním řízením dveřního systému
Poptávkové otevírání. Pokud nikdo nenastupuje automatické individuální zavírání.

Úspory jinou konstrukcí systému větrání topení a klimatizace

- Úspora frekvenčním řízením kompresoru
Časté spínání kompresoru je nežádoucí a poškozuje jej. Regulace pomocí bypassu je ztrátová (vytváříme tlak, který maříme).
- Úspora řízením otáček ventilátoru dodávaného vzduchu i kondenzéru
Ventilátory neběží na maximální otáčky, sníží se jejich proudový odběr.
- Úspora použitím režimu tepelného čerpadla
Potřeba doplnit další ventily a armatury. Snižuje životnost chladicího okruhu. Méně spolehlivé oproti elektrickému ohřevu.
- Úspora kvalitní konstrukcí klimatizačních jednotek
Optimalizovat průřezy a trasování vzduchové cesty klimatizační jednotkou. Kvalitní výměníky tepla s dostatečným rozestupem lamel, tak aby se neucpaly nečistotami a daly čistit, kvalitní materiály tepelných výměníků, vhodné izolace dostatečné tloušťky.
- Úspora použitým typem chladiva
Například chladivo R 407c je účinnější než R 134a.

Úspory řízením podle podmínek na reálné trati

- Úspora plnou recirkulací v konečné stanici
Má význam pouze u městské a příměstské dopravy.
- Úspora přechlazením nebo přetopením v konečné stanici před vyjetím
Vytvoření teplotní rezervy oproti regulační křivce bez cestujících (recirkulace) před vyjetím. Rovněž spíše pro městskou dopravu.
- Úspora ventilací
Vždy, když je to s ohledem na vnější teplotu a požadovanou vnitřní teplotu možné, upřednostňovat pouhou ventilaci před topením a chlazením.

Úspory konstrukční úpravou vozidla

- Úspora použitím okenních fólií
Zásadní úspora vhodná vždy. U bohatě prosklených vozidel roste význam.
- Úspora použitým povrchem nebo barvou
Barva a stupeň lesku je většinou firemní vizuální prezentací provozovatele a nelze měnit.
- Úspora vhodnou distribucí vzduchu
Typem a rozmístěním distribučních elementů.

- Úspora použitím lepší tepelné izolace
Obrys vozidla je dán. S ohledem na šířku uličky a potřebný konstrukční prostor není možné zvyšovat tloušťky izolací neomezeně. Nutno dbát na kvalitu, nenasákavost a nestřádavost izolace.
- Úspora vhodnou volbou dveřních zástěn
Zabránit nežádoucí výměně vzduchu při staničení.
- Úspora vhodnou konstrukcí vzduchových kanálů ve vozidle
Krátké, izolované, vhodně trasované.

Úspory údržbou systému

- Úspory údržbou systému
Zanesené tepelné výměníky, vzduchové kanály a ventilátory mají nižší účinnost. Rovněž častější výměna filtrů snižuje ztráty. Důležitá je i těsnost některých dílů.

Závěr

Klimatizační jednotky společně s dalšími doplňkovými topnými agregáty mohou vytvořit příznivě vnímanou tepelnou pohodu pro až 95 % cestujících. Z parametrů prostředí je třeba sledovat alespoň teplotu vzduchu, rychlost proudění vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, teplotu stěn, koncentraci CO₂, hluk a tlak. Velký potenciál skrývá oblast hledání energetických úspor klimatizačních zařízení drážních vozidel s ohledem na co nejmenší ovlivnění vnímání tepelné pohody cestujícími.

Seznam literatury

- 1) ČSN EN 14750-1, *Železniční aplikace - Klimatizace pro městská a příměstská kolejová vozidla – Část 1: Parametry pohodlí*. Praha: ČNI, 2006
- 2) ČSN EN 14813-1+A1, *Železniční aplikace - Klimatizace stanoviště strojvedoucího/řidiče – Část 1: Parametry pohodlí*. Praha: ČNI, 2011
- 3) ČSN EN 13129-1, *Železniční aplikace - Klimatizace pro kolejová vozidla hlavních tratí – Část 1: Parametry pohodlí*. Praha: ČNI, 2004
- 4) ČSN EN 45545, *Drážní aplikace – Protipožární ochrana drážních vozidel*. Praha: ČNI, 2011
- 5) *UIC 553, Heating, ventilation and air-conditioning in coaches*. Paris: UIC, 2005, ISBN 2-7461-0443-1
- 6) *Nařízení Komise (EU) č. 1303/2014 ze dne 18. listopadu 2014 o technické specifikaci pro interoperabilitu týkající se „bezpečnosti v železničních tunelech“ železničního systému Evropské unie*
- 7) *Nařízení Komise (EU) č. 1302/2014 ze dne 18. listopadu 2014 o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému kolejová vozidla – lokomotivy a kolejová vozidla pro přepravu osob železničního systému v Evropské unii*

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu TE01020038 „Centrum kompetence drážních vozidel“ programu Technologické agentury České republiky na podporu rozvoje dlouhodobé spolupráce ve výzkumu, vývoji a inovacích mezi veřejným a soukromým sektorem.

Praha, září 2016

Lektorovali: Ing. Zdeněk Malkovský, Ph.D.
VÚKV a.s.

Ing. Jaromír Bittner
České dráhy, a.s., Odbor kolejových vozidel