

Ing. František LÍZAL, Ph.D.¹⁾
 doc. Ing. Jan JEDELSKÝ, Ph.D.¹⁾
 prof. Ing. Miroslav JÍCHA, CSc.¹⁾
 Ing. Radim HAPALA²⁾

¹⁾ VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav – Odbor termomechaniky a techniky prostředí
²⁾ REMAK a.s.

Recenzent
 Ing. Martin Barták, Ph.D.

Rychlostní pole v okolí vyústky pro odmrazování a odmlžování čelního skla osobního automobilu

Velocity Field near Air Outlet for Defrosting and Defogging of a Car Windshield

Pro systémy odmlžování a odmrazování čelního skla automobilu existují závazné předpisy, kterým musí vyhovět každé vozidlo před typovým schválením. Samotné splnění legislativních požadavků by však v důsledku velké konkurence na automobilovém trhu nebylo dostatečné. Zároveň nelze pominout, že pro prodejnost vozu je důležitý design vozidla. Protože konstruktér větracího systému nesmí narušit vnější vzhled jednotlivých prvků interiéru, má často značně omezené možnosti. Při hledání optimálního řešení větracího systému proto potřebuje mít co nejlepší informace o vlivu konstrukčních úprav na proudění vzduchu.

V tomto článku jsou zkoumány dvě varianty vyústky pro odmrazování čelního skla z pohledu rychlosti a intenzity turbulence ve vystupujícím proudu. Je proveden rozbor vlivu umístění mřížky na vyústku a následně jsou stanoveny závěry, z nichž vyplývají doporučení pro volbu nejvhodnějšího uspořádání systému odmrazování a odmlžování čelního skla.

Klíčová slova: větrání, vytápění, větrání a vytápění automobilu, odmlžování skla, odmrazování skla, krycí mřížka, laboratorní měření, drátková anemometrie, rychlost proudění, intenzita turbulence

There are mandatory regulations for defogging and defrosting systems of car windshield, which have to be met before design approval of any vehicle. However, mere compliance with the legislative requirements is not sufficient, due to the strong competition in the automotive market. In addition, it can not be ignored that the vehicle design is important for its marketability. The ventilation system designer has often very limited options, as the external appearance of the individual interior elements must not be impaired. Therefore, he needs to have the best possible information about the impact of design modifications on the airflow, to find the optimal solution of the ventilation system.

Two variants of air outlets for windscreen defrosting are examined in this article, in terms of velocity and turbulence intensity of the incoming airflow. It is analyzed the impact of the grid location on the outlet and subsequently, the recommendations are determined for selection of the most appropriate arrangement of defrosting and defogging systems of car windshield.

Keywords: ventilation, heating, car ventilation and heating, glass defogging, glass defrosting, covering grid, laboratory measurement, hot-wire anemometry, flow velocity, turbulence intensity

ÚVOD

Minimální požadavky na systém pro odmrazování a odmlžování čelního skla osobního automobilu stanovuje nařízení Komise (EU) č. 672/2010. To předepisuje, že systém odmrazování musí být schopen po 20 minutách od začátku zkoušky odmrazit 80 % plochy, která zhruba odpovídá nejmenšímu nutnému výhledu řidiče. Do 40 minut pak musí být systém schopen odmrazit 95 % plochy odpovídající prakticky celému čelnímu sklu s výjimkou okrajových částí. Pro odmlžování pak platí, že z plochy nejmenšího nutného výhledu musí být po 10 minutách odmlženo 90 % a z plochy celého skla bez okrajových částí musí být po stejném čase odmlženo 80 %. Testy odmrazování se provádějí v mrazicí komoře, kde je udržována teplota -8 nebo -18 °C, dle určení výrobce. Testy odmlžování se provádějí při teplotě -3 °C. Nařízení dále přesně definuje způsob úpravy povrchu skla před testy a také množství vody a způsob její aplikace na sklo.

Splnění požadavků výše uvedeného nařízení Komise je podmínkou pro schválení typu vozidla a tedy i pro jeho prodej a uvedení do provozu. Z důvodu velké konkurence jsou výrobci nuceni zdokonalovat systémy pro odmrazování a odmlžování až nad rámec legislativních požadavků. Nové systémy musí být schopny odmrazit co největší plochu čelního skla v co nejkratším čase, přičemž musí spotřebovat minimum energie, způsobit co nejmenší hluk a současně co nejméně obtěžovat pasažéry prouděním vzduchu. Z obchodního hlediska je pro výrobce ještě důležitější vzhledově

odlišit svůj model od konkurence. Protože prostoru pro designové úpravy není v kabině automobilu nadbytek, dostává zpravidla design přednost před technicky ideálním řešením [1]. Konstruktér větracího systému hledá uspořádání, které uspokojí designéra a současně povede k maximální funkčnosti vyústek. Aby toho mohl dosáhnout, potřebuje vědět, jaký vliv mají různé konstrukční úpravy na účinnost systému větrání.

V první řadě je třeba hledat odpověď na otázku, jaké fyzikální principy je možné využít pro splnění cíle. V případě odmrazování je nutné zvýšit teplotu povrchu skla na vnější straně nad teplotu tání ledu. Elektrické vyhřívání čelního skla se výrazněji neprosadilo zejména z důvodu vysoké ceny. Proto je třeba teplo dodávat konvekci ze systému vytápění. Při odmlžování se musí zvýšit teplota vnitřního povrchu skla nad teplotu rosného bodu. Současně se přivádí čerstvý vzduch, který odvádí vlhkost, takže dochází i k přenosu látky.

Je tedy zřejmé, že je nezbytné co nejvíce zvýšit přenos tepla a látky mechanismem konvekce. Jelikož konvekci významně ovlivňuje rychlost proudění a intenzita turbulence, je potřeba kvalitně proměřit rychlostní pole nad vyústkou větrání pod čelním sklem a případně navrhnout takovou variantu, která požadavkům vyhoví nejlépe.

Cílem tohoto článku je popsat, jak vypadá rychlostní pole nad vyústkou pro odmlžování a odmrazování čelního skla a jak se projeví vliv instalace

krycí mřížky na vyústku. Smyslem teoretického rozboru je prokázat, že znalost rychlostního pole je podstatná pro zdokonalení navrhovaných vyústek a poukázat na parametry, které rychlostní pole významně ovlivní. V části věnované naměřeným výsledkům je pak provedeno zhodnocení reálné používané vyústky ve variantě bez mřížky a s ní.

TEORETICKÉ VZTAHY

Konvektivní přenos tepla

Celkový tepelný tok konvekcí do skla můžeme vyjádřit pomocí Newtonova ochlazovacího zákona:

$$\dot{Q} = \bar{\alpha} S (T_w - T_\infty) \quad [\text{W}] \quad (1)$$

kde je:

$\bar{\alpha}$ střední součinitel přestupu tepla pro povrch skla $[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$,
 S obtékaná plocha skla $[\text{m}^2]$,
 T_w teplota povrchu skla $[\text{K}]$,
 T_∞ teplota proudu vzduchu $[\text{K}]$.

Při výpočtu součinitele $\bar{\alpha}$ se používá bezrozměrné Nusseltovo číslo (Nu):

$$\bar{\alpha} = \frac{Nu \cdot \lambda}{L} \quad [\text{W}/\text{m}^2\text{K}] \quad (2)$$

kde je:

λ tepelná vodivost vzduchu $[\text{W}/\text{mK}]$,
 L charakteristický rozměr $[\text{m}]$.

Pro určení Nu existují empirické kritériální rovnice, jak uvádí např. Schlichting [2]:

$$Nu = f(Re, Pr, Tu) \quad [-] \quad (3)$$

kde je:

Re Reynoldsovo číslo $[-]$,
 Pr Prandtlovo číslo $[-]$,
 Tu intenzita turbulence $[-]$.

$$Re = \frac{\bar{U} \cdot L}{\nu} \quad [-] \quad (4)$$

kde je:

$\bar{U}$ střední rychlost v nabíhajícímu proudu $[\text{m}/\text{s}]$,
 ν kinematická viskozita $[\text{m}^2/\text{s}]$.

$$Pr = \frac{\nu}{a} \quad [-] \quad (5)$$

kde a je teplotní vodivost $[\text{m}^2/\text{s}]$.

$$Tu = \frac{U_{RMS}}{\bar{U}} \quad [-] \quad (6)$$

U_{RMS} se vypočítá jako odmocnina z průměru čtverce flukтуаční složky rychlosti:

$$U_{RMS} = \sqrt{\overline{U'^2}} \quad [\text{m}/\text{s}] \quad (7)$$

Předpokládáme, že okamžitou rychlost lze rozložit na složku střední a flukтуаční:

$$U = \bar{U} + U' \quad (8)$$

Konkrétní tvar funkce (3) závisí na dané geometrii a podmínkách proudění. V literatuře lze najít vztahy pro jednoduché tvary, jako jsou rovinné desky nebo obtékané válce. Tyto vztahy byly odvozeny empiricky a platí proto pouze pro daný rozsah Re , Pr , Tu a stejnou geometrii. Obecně lze říci, že čím vyšší je Re a Tu , tím vyšší je i Nu a $\bar{\alpha}$. Přehled prací věnovaných zejména vlivu Tu na přenos tepla publikovali Kondjoyan a kol. [3], kteří uvádí, že vliv zvýšení Tu se projevuje systematicky v celém rozsahu od méně než 10 do 60 %, přičemž zvýšení součinitele přestupu tepla může činit až 300 %.

Z uvedeného rozboru je zřejmé, že znalost rychlostního pole a Tu má zásadní význam při snaze o zvýšení účinnosti systému odmrazování a odmlžování čelního skla.

Vliv instalace mřížky na proudění

Použití krycí mřížky na vyústkách pro čelní sklo je často motivováno spíše záměrem designéra než snahou o změnu účinnosti odmlžování čelního skla. Vzhledem k tomu, že instalace mřížky může potenciálně změnit Tu , je dle našeho názoru třeba její použití důkladně zvážit i z tohoto hlediska. Mřížkovou turbulenci se zabývala celá řada publikací. V naprosté většině se ale jedná o studie v aerodynamických tunelech, kde jsou zásadně odlišné podmínky od situace ve vozidle. Rozdíly jsou jak v přicházejícím proudu, který má v aerodynamických tunelech $Tu < 0,2 \%$, tak v okrajových podmínkách, kdy na jedné straně máme vnitřní proudění v kanále a na druhé přilnutý proud.

Je známo, že mřížka může buď snižovat, nebo zvyšovat Tu , čímž může dojít k výraznému ovlivnění přestupu tepla a látky. Je zřejmé, že umístěním mřížky na vyústku dojde pouze k úpravě Tu v proudu, který mřížkou projde. Turbulence, která se generuje ve smykové vrstvě na okraji proudu za vyústku, bude vznikat v obou případech. Obecně platí, že vyšší Tu lze dosáhnout generováním volného proudu (někdy bývá používáno označení paprsek), než mřížkovým generátorem. V aerodynamických tunelech se pro vytváření Tu od 1 do 12 % volí téměř výlučně drátěné mřížkové generátory, zatímco pro vyšší intenzity se používají trysky, děrované plechy nebo vrtule [3].

Výsledky studia vlivu parametrů mřížky na Tu prováděné v aerodynamických tunelech za značně zjednodušených podmínek není snadné aplikovat pro praktickou predikci vlivu konkrétní mřížky na proudění. Zdá se, že vždy bude nezbytné ověřit výsledky experimentem.

Při úpravě Tu pomocí drátěné mřížky nebo perforovaného plechu je podstatným parametrem tzv. podíl volné plochy σ [%], což je procentuální podíl průtočné plochy na celkové ploše vyústky. Obecně platí, že čím nižší je podíl volné plochy, tím vyšší je generovaná Tu . Na druhé straně však bylo zjištěno, že existuje hranice minimálního podílu volné plochy, pod níž dochází ke vzniku oddělených proudů, které za mřížkou interagují za vzniku makroskopických fluktuací, které při měření v aerodynamických tunelech představují nežádoucí jev. Podle Ertunce a kol. [4] leží tato hranice podílu volné plochy mezi 37 až 46 %. Je třeba říci, že pro aplikaci na případ vyústky pro odmlžování čelního skla nemusí mít vznik těchto makroskopických nestabilit negativní vliv, zvláště když uvážíme, že v proudu zcela jistě budou již podobně silné fluktuace přítomny v důsledku průchodu komplikovanou geometrií vzduchovodů.

Dosud nebyl nalezen všeobecně platný kvantitativní vztah mezi podílem volné plochy a intenzitou generované turbulence. Byly publikovány pouze rovnice platné pro určité vstupní podmínky. Pro perforovaný plech, což je případ blízký našemu zadání, v omezeném rozsahu Reynoldsových čísel empiricky získali Liu a kol. [5] vztah:

$$\ln Tu = \ln k_1 + k_2 (1 - \sigma) \quad [-] \quad (9)$$

kde je:

- K_1 konstanta závislá na průměru d a vzdálenosti od mřížky,
 K_2 konstanta, jejíž hodnota leží v intervalu 0,016 až 0,02.

Obecně je uznávána platnost vztahu pro pokles intenzity turbulence za mřížkou:

$$Tu = A \left(\frac{X}{D} - \frac{X_0}{D} \right)^{-n} \quad [-] \quad (10)$$

kde je:

- A konstanta, která závisí na typu mřížky [-],
 X vzdálenost od mřížky [m],
 X_0 virtuální počátek proudu [m],
 D průměr otvorů v mřížce [m],
 n parametr, jehož hodnota se pohybuje mezi 0,5 a 0,68 [6].

Je třeba poznamenat, že rovnice (10) byla odvozena pro vzdálené pole, kde je předpokládána homogenní turbulence. Hranice mezi blízkým polem, které je silně ovlivněno geometrií konkrétní mřížky, a polem vzdáleným není přesně definována; uvádí se, že leží ve vzdálenosti 50 až 80 integrálních délek za mřížkou [7]. Tvar vztahu pro blízké pole se liší v závislosti na typu použité mřížky, ale pokles Tu zůstává exponenciální. To je zásadní rozdíl oproti turbulenci volného proudu, kde Tu zůstává konstantní na velkou vzdálenost [3].

Skutečnost, zda mřížka bude turbulenci generovat, lze předpovědět na základě výpočtu mřížkového Reynoldsova čísla Re_m , kde se za charakteristický rozměr dosadí průměr otvoru v plechu nebo vzdálenost středů sousedních drátů v případě drátěné mřížky. Kritickou hodnotou je $Re_m = 40$ [8]. Pod touto hodnotou dochází k utlumení turbulentních vírů při průchodu mřížkou vlivem viskozity.

V neposlední řadě je třeba zvážit, jaká bude tlaková ztráta mřížky. Vyšší tlaková ztráta přináší vyšší energetické nároky a v souvislosti s nimi pak zvýšení provozních nákladů a produkce CO_2 , případně i zvýšení výrobních nákladů (pokud bude potřeba silnější ventilátor). Závislost součinitele snížení statického tlaku K na Reynoldsově číslu a podílu volné plochy publikovali Groth a Johansson [8]:

$$K = \frac{\Delta p_{stat}}{\frac{1}{2} \rho U^2} = f(Re_m) \frac{1 - \sigma^2}{\sigma^2} \quad [-] \quad (11)$$

kde je:

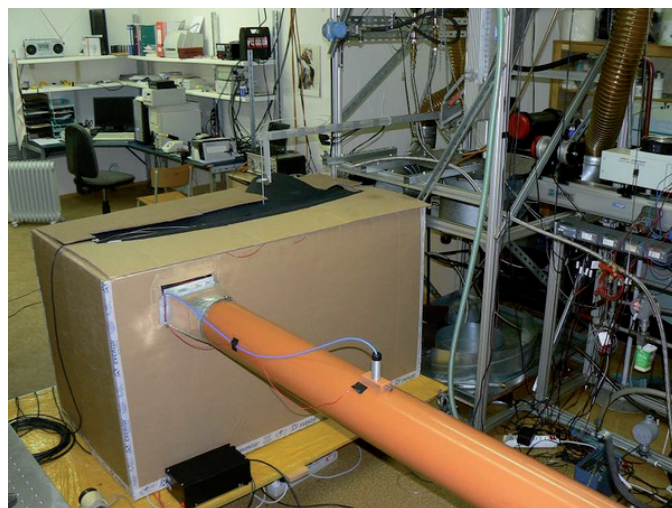
- Δp_{stat} změna statického tlaku [Pa],
 ρ hustota vzduchu [kg/m^3],
 $f(Re_m)$ funkce závislá na Reynoldsově číslu, pro $Re_m > 200$ je rovna 0,45 [-].

Tlaková ztráta mřížky má vliv také na tlumení Tu v přicházejícím proudu. Dryden a Schubauer [9] uvádějí vztah pro součinitel tlumení F_{uv} [-], definovaný jako podíl intenzity turbulence v proudu za mřížkou k intenzitě turbulence bez použití mřížky:

$$F_{uv} = \frac{1}{\sqrt{1+K}} \quad [-] \quad (12)$$

METODA

Protože provedení celého měření přímo v kabině automobilu za reálných podmínek by bylo značně obtížné, byla v souladu se zásadou „od jedno-



Obr. 1 Fotografie celého měřicího standu

Fig. 1 Photography of the entire measuring stand

duchého ke složitějšímu“ vytvořena nejprve speciální laboratorní měřicí trať se samostatně stojící palubní deskou bez čelního skla a měření bylo provedeno v izotermických podmínkách (viz obr. 1).

Měření rychlosti proudění bylo provedeno metodou žhavených drátků pomocí systému Dantec Streamline s moduly 90C10 instalovanými v rámu 90N10. Pro většinu měření byla použita třídrátková sonda 55R95 [10], která umožňuje současné měření všech tří složek rychlosti. Vliv instalace mřížky byl měřen pomocí dvoudrátkové sondy 55P61 [11], neboť v době provádění tohoto měření nebyl třetí modul anemometru Streamline k dispozici. Touto sondou bylo měření provedeno v každém bodě dvakrát, při prvním měření byly měřeny složky rychlosti U a W , při druhém měření pak složky V a W . Před každým měřením bylo prováděno cejchování anemometru pomocí kalibrátoru DISA 55D45 pro rychlosti od 1 do 20 m/s. Při měření byla nastavena vzorkovací frekvence 1 kHz a v každém bodě bylo změřeno 2048 vzorků. Z nich pak byla vypočtena střední a flukuační složka rychlosti ve směru os x , y a z . Celková rychlost C [m/s] pak byla určena dle vzorce:

$$C = \sqrt{\bar{U}^2 + \bar{V}^2 + \bar{W}^2} \quad [m/s] \quad (13)$$

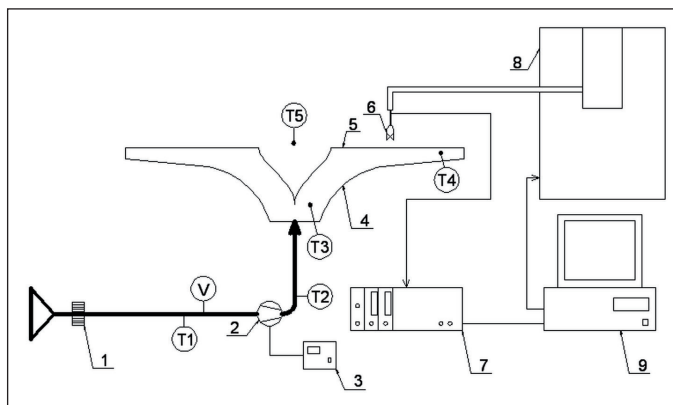
kde $\bar{U}$, $\bar{V}$ a $\bar{W}$ jsou časově střední složky rychlosti ve směrech os x , y a z [m/s].

Intenzita turbulence byla určena jako:

$$Tu = \frac{\sqrt{\frac{1}{3}(U_{RMS}^2 + V_{RMS}^2 + W_{RMS}^2)}}{C} \cdot 100 \quad [\%] \quad (14)$$

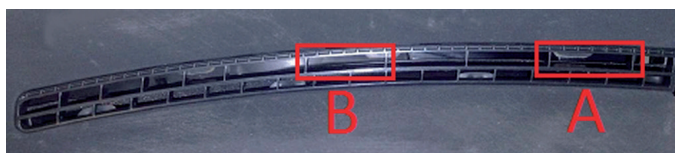
kde U_{RMS} , V_{RMS} a W_{RMS} jsou flukuační složky rychlosti ve směrech os x , y a z [m/s].

Uspořádání měřicí trati je zachyceno na obr. 2. Na vstupu do nasávacího potrubí byla umístěna voštiny, která sloužila jako usměrňovač proudění, aby v místě měření průtoku byl vytvořen vyvinutý profil. Průtok byl měřen průtokoměrem Höntzsch ZS25GA-mn40/140/p6. Všechna měření byla provedena pro nasávaný průtok $340 m^3/h$, který odpovídá režimu používanému pro odmlžování čelního skla. V trati byl osazen standardní automobilový ventilátor, který byl součástí měřené palubní desky. V měřicí trati bylo rozmístěno celkem 5 termočlánků



Obr. 2 Schéma měřicí tratě [11]: 1 – usměrňovač proudění, 2 – ventilátor, 3 – napájecí zdroj, 4 – vzduchovod, 5 – měřená vyústka, 6 – sonda anemometru, 7 – moduly anemometru, 8 – traverzovací systém, 9 – měřicí počítač, V – průtokoměr, T1 až T5 – termočlánky

Fig. 2 Scheme of the test track [11]: 1 – flow baffle, 2 – fan, 3 – power supply, 4 – airway, 5 – measured outlet, 6 – probe of the anemometer, 7 – modules of the anemometer, 8 – traversing system, 9 – measuring computer, V – flowmeter, T1 to T5 – thermocouples



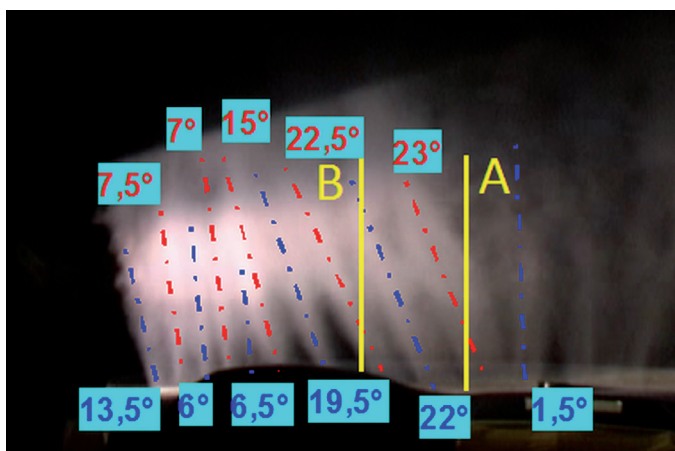
Obr. 3 Fotografie levé části vyústky pro odmlžování čelního skla bez krycího plechu s vyznačenými segmenty A a B

Fig. 3 Photography of the left side of the outlet for windscreen defogging, without a cover plate, with marked segments A and B



Obr. 4 Detail vyústky opatřené plechovou krycí mřížkou

Fig. 4 Detail of the outlet fitted with a metal covering grid

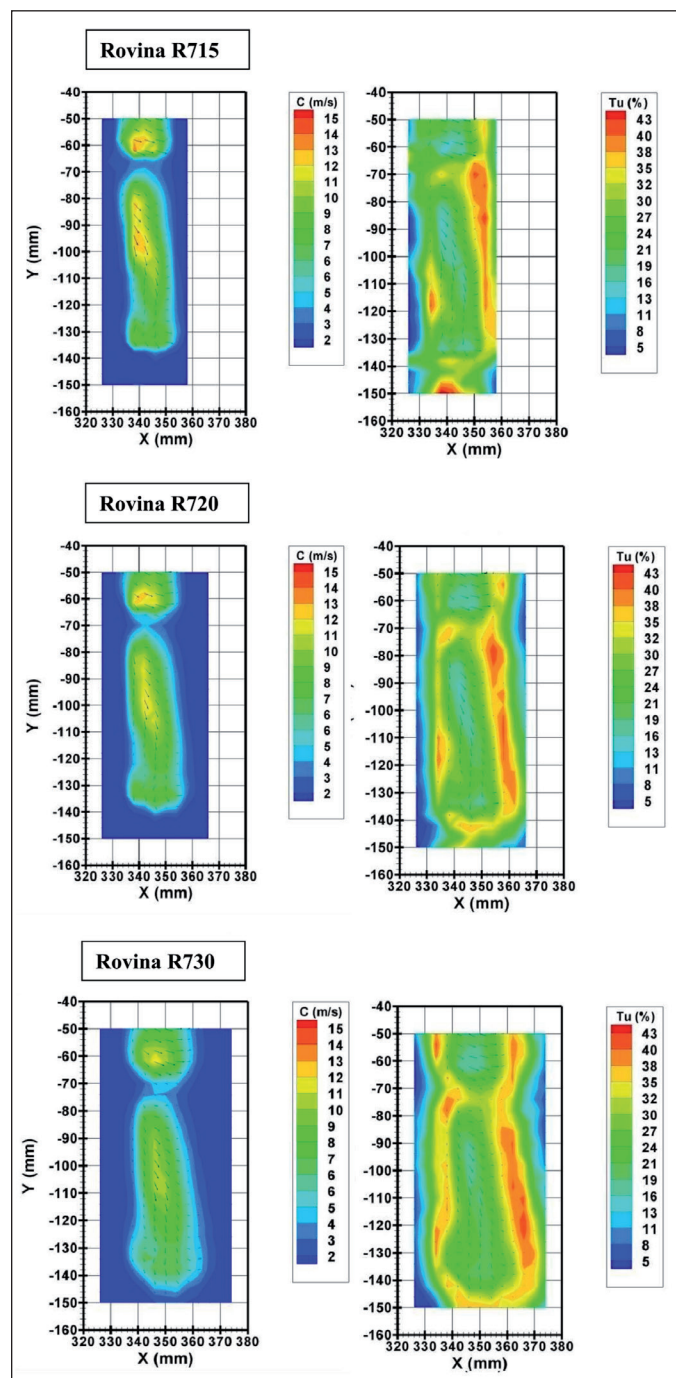


Obr. 5 Kouřová vizualizace proudění: modré a červené čerchované čáry označují osy proudů vycházejících z vyústky; žlutě jsou vyznačeny vertikální měřicí roviny nad segmentem A a B

Fig. 5 Smoke flow visualization: the blue and red dashed lines indicate the axis of the jets flowing from the outlet; by yellow are highlighted the vertical planes of measurement above the segments A and B

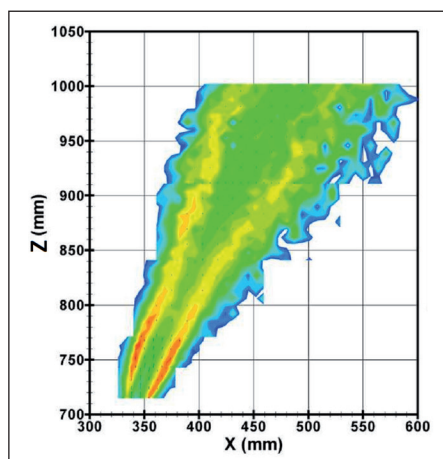
T 2x0,15 (Cu – CuNi). Data z průtokoměru i termočlánků byla ukládána do počítače se softwarem LabVIEW 8, který prováděl zpracování signálu, výpočet korekce průtoku na změnu teploty a ukládání dat. Posuv sondy nad vyústkou zajišťoval traverzovací systém Dantec Lightweight software řízený počítačem. Přesnost určení polohy sondy je 0,1 mm. Atmosférický tlak a vlhkost byla měřena přístrojem Comet D4141.

Měřená vyústka se skládá ze dvou polovin (viz obr. 3). Šířka štěrbin je 13 mm, délka celé vyústky (tedy součet délky obou polovin) je cca 116 cm. Vyústka byla měřena bez krycí plechové mřížky a s ní (viz obr. 4). Tloušťka použitého krycího plechu je 0,6 mm, velikost



Obr. 6 Celková rychlost (vlevo) a intenzita turbulence (vpravo) naměřená v horizontálních rovinách 3, 8 a 18 mm nad hranou segmentu A; vektory zobrazují směr a velikost rychlosti

Fig. 6 Overall velocity (left) and turbulence intensity (right) measured in horizontal planes 3, 8 and 18 mm above the edge of the segment A; vectors are showing the direction and magnitude of the velocity



Obr. 7 Intenzita turbulence naměřená ve vertikální rovině nad segmentem A

Fig. 7 Turbulence intensity measured in a vertical plane above the segment A

otvorů je 1,2 mm a vzdálenost středů otvorů je 1,5 mm. Podíl volné plochy je 56,5 %. Palubní deska byla umístěna ve speciálním stojanu, který umožňoval ustavení do polohy identické s instalací ve vozidle.

Nejistota měření rychlosti

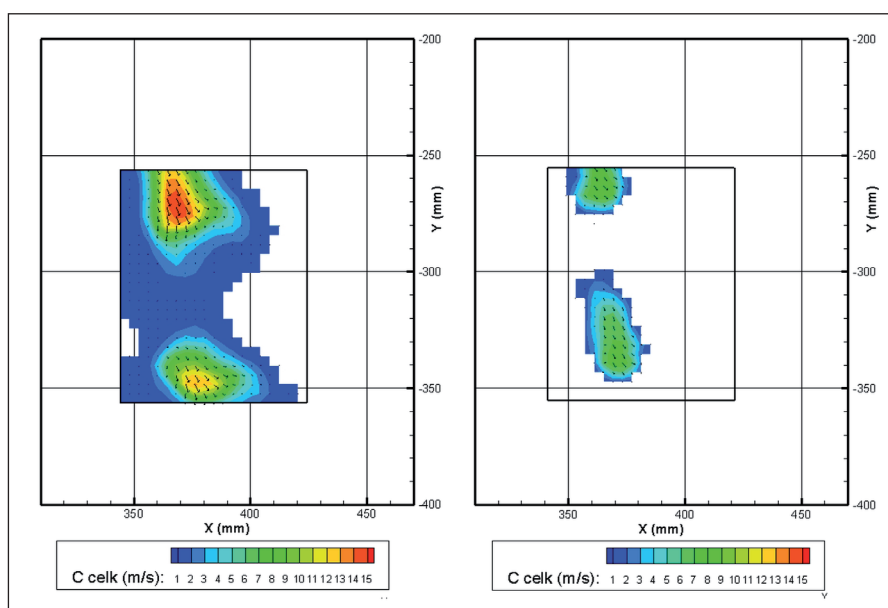
Výpočet nejistoty měření byl proveden dle Jørgensena [12]. Uvažovány byly vlivy cejchování, linearizace, rozlišení měřicí karty, nejistota určení polohy sondy, změna teploty drátku, změna hustoty vzduchu v důsledku změny teploty okolí, změna atmosférického tlaku a změna vzdušné vlhkosti. Na základě těchto dílčích nejistot byla vypočtena celková nejistota měření rychlosti, která v rozsahu rychlostí od 1 do 14 m/s mírně roste od 0,2 do 0,5 m/s.

VÝSLEDKY

Měření výústky bez krycí plechové mřížky

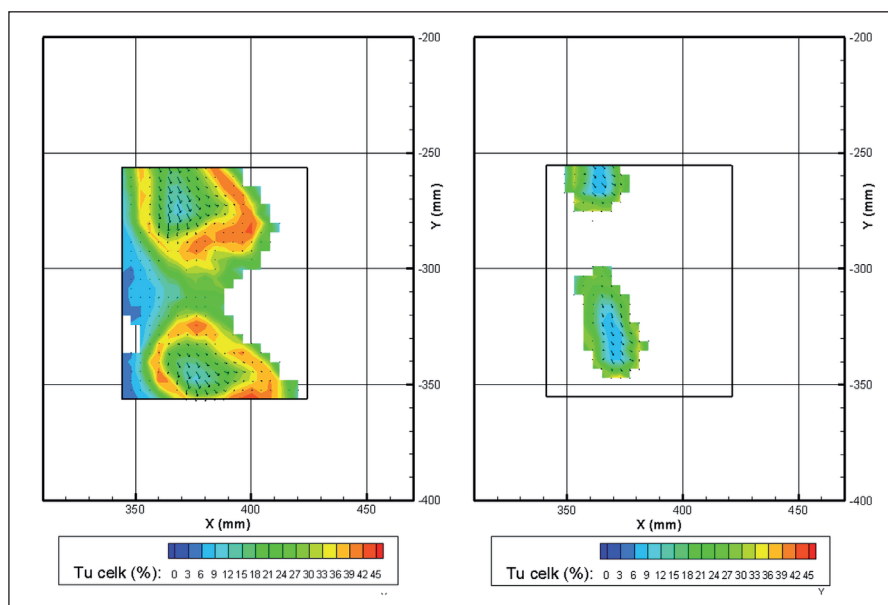
Před samotným měřením byla provedena kouřová vizualizace proudění na modelu bez čelního skla (obr. 5). Ta ukázala, že z jednotlivých segmentů výústky vycházejí oddělené proudy vzduchu, které se liší tvarem, velikostí i sklonem. Všechny proudy jsou skloněny směrem k řidiči a ke dveřím. Vznik oddělených proudů způsobují plastové lamely mezi segmenty (viz obr. 3).

Proměřením rychlosti proudění na výstupu z výústky bylo zjištěno, že proudění je značně nerovnoměrné, nejvyšší výstupní rychlosti (až 14 m/s) byly naměřeny blízko podélné osy vozidla, směrem ke dveřím rychlosti v osách jednotlivých proudů klesaly, až k hodnotě 6 m/s. V tomto článku jsou podrobněji rozebrány výsledky měření rychlosti nad segmentem A a Tu nad segmentem B (viz obr. 3). Měřicí roviny segmentu A leží ve výšce 3 mm, (rovina R715), 8 mm (R720) a 18 mm (R730) nad hranou výústky. Hustota měřicích bodů je 4×4 mm. Data jsou prezentována v souřadném systému vozu, jehož počátek leží v podélné ose vozidla v oblasti motorového prostoru.



Obr. 8 Celková rychlost naměřená v horizontální rovině 8 mm nad segmentem B: vlevo bez krycí mřížky, vpravo s mřížkou; vektory zobrazují směr a velikost rychlosti

Fig. 8 Overall velocity measured in the horizontal plane 8 mm above the segment B: on the left without the covering grid, on the right with the grid; vectors are showing the direction and magnitude of the velocity



Obr. 9 Intenzita turbulence v horizontální rovině 8 mm nad segmentem B: vlevo bez krycí mřížky, vpravo s mřížkou; vektory zobrazují směr a velikost rychlosti

Fig. 9 Turbulence intensity in the horizontal plane 8 mm above the segment B: on the left without the covering grid, on the right with the grid; vectors are showing the direction and magnitude of the velocity

Z obr. 5 je patrné oddělení proudů vystupujících z jednotlivých segmentů. Postupně, s tím jak proud předává část své hybnosti okolnímu vzduchu, dochází ke snižování rychlosti a spojování jednotlivých proudů. V obr. 6 můžeme nad segmentem A vysledovat, že těsně nad výústkou proud mírně rotuje proti směru hodinových ručiček. Postupně klesají složky rychlosti ve směru osy y a z , naopak roste složka rychlosti ve směru osy x a současně s tím ustává rotace proudů. Zajímavá je oblast kolem souřadnic $y = -120$ mm a $x = 335$ mm, kde je zřetelný úplav. Ve stejném místě pozorujeme lokální maximum Tu .

Vliv instalace krycí plechové mřížky

Instalace plechové mřížky se zcela zásadním způsobem projevila na rychlosti i intenzitě turbulence (obr. 8 a 9). Nejpodstatněji se projevil vliv zvýšení tlakové ztráty. V jeho důsledku došlo ke zvýšení výtokové rychlosti na vnějším okraji vyústky a ke snížení ve středu vozidla. Současně se výrazně změnil směr vytékajících proudů. Měření bylo provedeno nad segmentem B (viz obr. 3), který by byl ve voze umístěn přímo před řidičem. Horizontální rovina byla měřena ve výšce $z = 720$ mm, vertikální pak na souřadnici $y = -300$ mm. Na obr. 10 vidíme, že vertikální rovina po přidání mřížky protíná místo dvou proudů pouze jeden. Změnil se i tvar obou proudů v horizontální rovině. Současně v obou měřených rovinách došlo k výraznému snížení rychlosti i Tu .

DISKUZE

Už na základě vizualizace je zřejmé, že modely automobilů, které mají pouze krátkou šterbinu uprostřed palubní desky (tento případ se liší od námi měřené vyústky), budou mít problém dosáhnout rychlého odmlžení čelního skla. Vzhledem k množství potřebného vzduchu pro odvod vlhkosti a k malé ploše vyústky musí proud vycházet velkou rychlostí, čímž získá velkou hybnost a v důsledku toho špatně reaguje na směrovací lamely. Protože na rozdíl od dlouhé vyústky pod celým čelním sklem nejsou v případě krátké vyústky vůbec omývány velké plochy ve spodní části skla, vzniká problém v obou spodních rozích skla. V případě krátké vyústky se zvlášť výrazně projevuje potřeba maximalizovat Tu , neboť úhel rozšíření proudu je tím vyšší, čím rychleji proud předává hybnost svému okolí.

Z výsledků měření v horizontálních rovinách je zřejmé, že původ rychlostních fluktuací je na hranách segmentů, kde dochází ke vzniku rozruchů v důsledku interakce rychle proudícího vzduchu z vyústky a úplavu. Za hranou tak vzniká „otisk“ hran daného segmentu, který je možné v proudu sledovat až do výšky nejméně 30 cm nad vyústku (jak prokázalo měření vertikální roviny, viz obr. 7). Je zajímavé, že zatímco nad přední hranou Tu dokonce mírně vzroste, jinde zůstává spíše konstantní. To je patrně způsobeno posunem osy proudu (maxima rychlosti) do měřené vertikální roviny.

Zaměříme se nyní na intenzitu turbulence za námi měřenou vyústkou při použití krycí mřížky. Při výpočtu Re_M můžeme použít střední rychlost určenou ze znalosti průtoku a výstupního průřezu vyústky. Plochu vyústky bez krycí mřížky je třeba vynásobit hodnotou σ , čímž dostaneme plochu otvorů v mřížce. Za charakteristický rozměr zvolíme průměr otvoru mřížky. Re_M pak vyjde 880, což by dle teorie mělo znamenat generování turbulence. Je třeba zdůraznit, že mřížka se zpravidla nechová jako čistý tlumič, případně generátor turbulence. Jak uvádějí Loehrke a Nagib [13], každá mřížka potlačuje turbulenci v přichozím proudu, ale současně ji, v případě nadkritického proudění ($Re_M > 40$), generuje v proudu za ní.

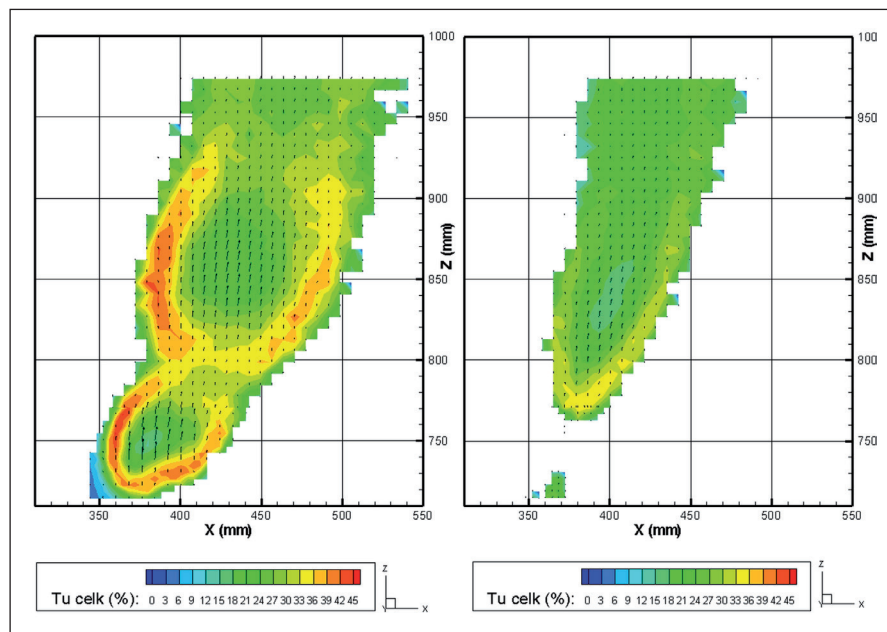
Pro použitou mřížku lze tlumení určit na základě součinitele snížení statického tlaku K (11), který v našem případě vychází 0,96. Po dosazení do rovnice pro výpočet součinitele tlumení (12) vyjde hodnota 0,714. To znamená, že při použití mřížky by měla Tu klesnout na 71 % hodnoty naměřené bez mřížky. Porovnáním maxima Tu naměřeného bez mřížky a s ní zjistíme, že došlo

k poklesu ze 45 na 35 %, tedy k poklesu na zhruba 78 % původní hodnoty. K podobnému poklesu došlo i v oblasti minima Tu .

Turbulenci generovanou na mřížce nelze určit výpočtem, neboť nebyly dosud publikovány obecně platné vztahy. Závěr, že turbulence generovaná na mřížce je rovna 7% rozdílu mezi naměřeným utlumením turbulence a výpočtem na základě součinitele tlumení, by však byl zavádějící. Je totiž třeba zohlednit fakt, že umístěním mřížky došlo ke změně lokálních rychlostí a zrovnoměnění rychlostního pole, což mohlo mít za následek snížení rychlostních fluktuací. Srovnání by tak bylo provedeno na hodnotách získaných za jiných podmínek. Lze však jednoznačně říci, že umístění krycí mřížky způsobuje celkový pokles Tu , v důsledku čehož lze očekávat snížení přestupu tepla na čelním skle.

Na základě měření je možné konstatovat, že vyústka bez krycí mřížky plní svou funkci dostatečně, ačkoli není stejnoměrně využit celý její výstupní průřez. Současně se vyústka bez krycí mřížky jeví jako vhodnější z hlediska přenosu tepla, neboť generuje vyšší Tu . Na druhé straně, při instalaci mřížky došlo ke zrovnoměnění výstupní rychlosti po délce vyústky. Z výsledků je patrné, že ani umístění mřížky neodstranilo z proudu fluktuace generované na hranách segmentu. Vliv na to může mít umístění mřížky těsně na hranu segmentu.

Celkový pocit cestujících ve vozidle je ovlivněn i hladinou hluku. Během experimentu nebylo prováděno měření akustických veličin, ale do budoucna je třeba se na tuto oblast zaměřit, neboť vyústky jsou jedním ze zdrojů hluku v interiéru. Je zřejmé, že vhodnými úpravami výstupu je možné dosáhnout snížení hlukové hladiny. V této souvislosti stojí za připomenutí možnost kombinovat dvě mřížky s různým podílem volné plochy. V tom případě lze totiž dosáhnout lepšího tlumení turbulence při srovnatelné tlakové ztrátě [8]. Nebo jinak řečeno, stejného tlumení lze dosáhnout při nižších tlakových ztrátách. Druhá mřížka by v tom případě musela být nad hranou vyústky, čímž by mohl vzniknout zajímavý designový prvek. Jak ale bylo již zmíněno, z pohledu přenosu tepla je vhodnější vyšší turbulence a její tlumení by přicházelo v úvahu pouze tehdy, pokud by se prokázalo, že tím dojde ke snížení hlukové hladiny.



Obr. 10 Intenzita turbulence ve vertikální rovině nad segmentem B: vlevo bez krycí mřížky, vpravo s mřížkou; vektory zobrazují směr a velikost rychlosti

Fig. 10 Turbulence intensity in the vertical plane above the segment B: on the left without the covering grid, on the right with the grid; vectors are showing the direction and magnitude of the velocity

ZÁVĚR

Vyústky pro odmlžování čelního skla mají zpravidla buď podobu krátké štěrbin uprostřed, nebo dlouhé vyústky pod celým čelním sklem. Tyto vyústky pak mohou být překryty mřížkou. Pro nejrychlejší odmlžení je třeba, aby co největší plocha skla byla ofukována prouděním s co nejvyšší turbulentí. Z toho pohledu se jeví jako vhodnější použití dlouhé vyústky, která zaručí dopravu vzduchu na celý povrch skla. U krátké štěrbin bude vždy problém zajistit dostatečné rozšíření proudu na potřebnou plochu skla.

Umístění krycí mřížky na vyústku větrání pod čelním sklem se ukazuje jako nepřilíživé z dvou důvodů. Jednak z hlediska energetických nároků, kdy dojde ke zvýšení tlakové ztráty vyústky, a pak také z hlediska rychlosti odmlžení a odmrazení čelního skla. Lze totiž předpokládat, že Tu v přiváděném proudu bude již natolik vysoká, že tlumení Tu na mřížce bude převažovat nad jejím generováním. Budeme-li tedy v souladu s dostupnou literaturou předpokládat, že vyšší Tu znamená lepší přenos tepla, lze doporučit vyústky bez krycí mřížky. I v případě, že by Tu v přiváděném vzduchu byla nízká, bylo by vhodnější použít vhodné tvarovanou hranu vyústky spíše než mřížku. Hlavní výhodou použití mřížek pro generování turbulence je totiž vytvoření homogenní a izotropní turbulence. V automobilu nás však více zajímá hodnota Tu než poměr podélných a příčných fluktuací rychlosti.

Pro použití mřížky mohou kromě estetického hlediska existovat ještě další důvody. Mřížka může např. přispět ke snížení hluku při proudění z vyústky, neboť příliš velké rychlostní fluktuace způsobené přechodem proudění přes hranu mohou generovat hluk. Použití jedné, případně dvou vhodně konfigurovaných mřížek by mohlo tomuto problému předejít. K ověření této domněnky je třeba provést přesná hluková měření kombinovaná s měřením rychlostí a turbulence.

Kontakt na autora: lizal@fme.vutbr.cz

Poděkování: Příspěvek byl vytvořen s podporou projektu LO1202 NETME CENTRE PLUS a s finančním přispěním Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v rámci Národního programu udržitelnosti I. Autoři děkují Ing. Janu Košnerovi, Ph.D., za spolupráci při přípravě měření.

Světový trh deskových výměníků 2014–2020

Podle PR Newswire se světový trh deskových výměníků odhadoval ke konci roku 2013 na 11,9 mld. USD s očekáváním růstu do roku 2020 na 18 mld. USD. Na prvních třech místech trhu se podílí společnosti švédská Alfa Laval AB, japonská Hisaka Works Ltd. a německá Saacke GmbH. Hnacím motorem růstu prodeje je maximalizace tepelné účinnosti a přenos tepla z jedné látky na druhou. Mnohé vlády stojí tváří v tvář trvalému nedostatku energie a nutnosti zvýšení kapacity výroby energie, která je založena na zastaralých technologiích výroby v parních a spalovacích turbínách, zatímco moderních systémů se uvádí do provozu stále málo. Je výrazný zájem o diverzifikaci energetického portfolia a úpravy technologií na využívání obnovitelných zdrojů. Ve výrobním spektru je výrazný zájem jak o mobilní výměníky, tak i o velké výměníky vysokých výkonů.

Pramen: PR Newswire 2015/6, tisková zpráva

(AB)

Mravenci v chladivém kabátě

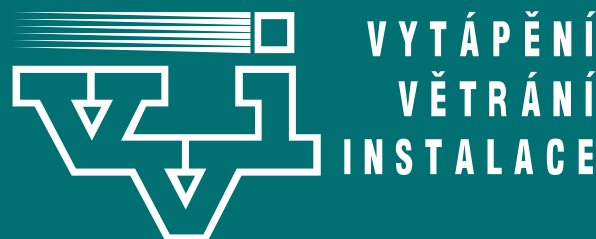
Výzkum newyorské Columbia University zjistil, že mravenci Cataglyphis bombycina, žijící na Saharě, mají na svém povrchu stříbrný tepelný štít z jemných chloupků, který chrání jejich organismus před účinky 70 °C teplé půdy a navíc odráží sluneční paprsky. Potvrdilo se, že mravenci bez těchto chloupků se ohřívají o 5 až 10 K více. Po zjištění povahy tepelného štítu plánují vědci využití efektu jako přírodního chladičského prostředku u automobilů, budov, strojů a oblečení s vysokou odrazovou schopností záření slunečního spektra.

Pramen: CCI 08/2015, s. 4

(AB)

Použité zdroje:

- [1] BAKER, P. J., a kol. An Optimised Thermal Design and Development Process for Passenger compartments of vehicles. In: *4th European Automotive Simulation Conference*. Munich, 2009, s. 1–14.
- [2] SCHLICHTING, H. *Boundary-layer theory*. 7th ed. McGraw-Hill series in mechanical engineering. New York: McGraw-Hill, 1979. 817 s.
- [3] KONDOYAN, A., PENEAU, F., BOISSON, H.C. Effect of high free stream turbulence on heat transfer between plates and air flows: A review of existing experimental results. *International Journal of Thermal Sciences*, 2002. roč. 41, č. 1. s. 1–16.
- [4] ERTUNC, O., a kol. Homogeneity of turbulence generated by static-grid structures. *Journal of Fluid Mechanics*. 2010. roč. 654, s. 473–500.
- [5] LIU, R., TING, D.S.K., RANKIN, G.W. On the generation of turbulence with a perforated plate. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2004. roč. 28, č. 4, s. 307–316.
- [6] MOHAMED, M.S., LARUE, J.C. The decay power law in grid-generated turbulence. *Journal of Fluid Mechanics*. 1990. roč. 219, s. 195–214.
- [7] COMTEBELG, CORRISIN, S. Use of a contraction to improve isotropy of grid-generated turbulence. *Journal of Fluid Mechanics*, 1966. roč. 25.
- [8] GROTH, J., JOHANSSON, A.V. Turbulence reduction by screens. *Journal of Fluid Mechanics*, 1988. roč. 197, s. 139–155.
- [9] DRYDEN, H.L., SCHUBAUER, G.B. The use of damping screens for the reduction of wind-tunnel turbulence. *Journal of the Aeronautical Sciences*, 1947. roč. 14, č. 4, s. 221–228.
- [10] HAPALA, R. *Větrání kabiny osobního automobilu – výzkum charakteru proudění z rozmrazovací mřížky předního skla a účinnost tohoto systému*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009.
- [11] LÍZAL, F. *Větrání kabiny vozidla – rychlostní pole v okolí vyústek přístrojové desky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007.
- [12] JORGENSEN, F. *How to measure turbulence with hot-wire anemometers – a practical guide*. Skovlunde, Denmark: Dantec Dynamics, 2002.
- [13] LOEHRKE, R.I., NAGIB, H.M. *Experiments on management of free-stream turbulence* [online]. London: Agard, 1972. Dostupné z: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/749891.pdf>



Webová prezentace časopisu VVI
www.stpcr.cz/vvi

Na těchto stránkách najdete:

- úplné texty článků vydaných v letech 1958 až 1991 v časopise Zdravotní technika a v duchotechnika (předchůdce VVI),
- vyhledávací databázi článků od roku 1958,
- vybrané články VVI,
- informace pro autory a recenzenty,
- informace o předplatném a inzerci.