

## CONTRIBUTION TO THE SIMULATIONS OF FLOW DURING DRIVER'S CABIN VENTILATION

M. Schuster \*

**Summary:** *This paper deals with industrial application of CFD numerical method to the prediction of flow situation in a cabin model. Several versions of air-exhauster and air-return grille location were calculated to obtain flow distribution in the cabin. The results of simulations were confronted with the values of standards. The paper brings a short discussion about boundary condition type setting in order to obtain more accurate results.*

### 1. Úvod

Aerodynamika kolejových vozidel přináší sebou řadu podnětů k výzkumu a řadu možností pro uplatnění řešení pomocí numerických simulací. Jedním z vděčných témat k řešení je aerodynamika vnitřních prostor vozidel, ať se jedná o prostor cestujících nebo ať se jedná o prostor kabiny řidiče nebo strojvůdce. Základní přehled řešených úloh z této oblasti zaměřených na dopravní prostředky ŠKODA lze nalézt v příspěvku (Schuster, 2005a) aj. Normativní předpisy zejména v oblasti drážních kolejových vozidel přináší množství striktních požadavků na kvalitu vnitřního prostředí, které kladou velké nároky na provedení konstrukce systémů, výkon a uspořádání prvků zařízení pro klimatizaci, topení a ventilaci prostor.

Příspěvek je zaměřen na způsob řešení proudění vzduchu v prostoru modelu kabiny strojvůdce. Parametry proudění a ventilace v několika variantách provedení vnitřního prostoru kabiny byly zkoumány pomocí numerických simulací. Testovací výpočty pro ověření variant uspořádání ventilačních otvorů byly provedeny v modelu kabiny tvarově a rozměrově vycházející z tvaru kabiny prototypu elektrické lokomotivy ŠKODA. V příspěvku jsou stručně zmíněny možnosti simulací s komerčním CFD programem při řešení technických úloh z průmyslu – flexibilita tvaru a sítě výpočtové oblasti a volba typů okrajových podmínek pro modelování reálných situací.

### 2. Uspořádání ventilace kabiny

Ventilační systém kabiny lokomotivy je navrhován jako uzavřený okruh s možností regulace množství protékajícího vzduchu. Klimatizační jednotka zajišťuje výměnu vzduchu v kabině, filtraci vzduchu, potřebné doplnění čerstvého vzduchu a regulaci množství a teploty

---

\* Dr. Ing. Milan Schuster: ŠKODA VÝZKUM s.r.o., VMS – Mechanika tekutin; Tylova 1/57; 316 00 Plzeň;  
tel.: +420.378 182 209, fax: +420.378 182 217; e-mail: milan.schuster@skoda.cz

protékaného vzduchu. Cirkulace vzduchu v kabině je zajištěna systémem výdechových a odsávacích otvorů, které bývají nejčastěji umístěny podobně jako u automobilů v palubní desce, pod čelním sklem a v bocích řídicího pultu. Cílem úkolu pro numerické simulace prezentované v příspěvku bylo zjistit rozložení tlakových a rychlostních polí v modelu kabiny pro větší množství různých kombinací ve velikosti, tvaru a umístění ventilačních otvorů na povrchu řídicího pultu kabiny.

Úkol optimalizace umístění ventilačních otvorů byl řešen pro několik odlišných tvarů modelu kabiny. Varianty modelu byly dány jednak hledisky vyplývajícími z konstrukčního návrhu a jednak hledisky plynoucími z potřeb numerických simulací.

Varianty modelu jsou pro přehlednost označeny a popsány takto:

LK1 = model levé poloviny kabiny, symetrické umístění ventilačních otvorů, mapovací výpočty řady kombinací tvaru a umístění otvorů, výdechové otvory obdélníkového tvaru nebo tvaru šterbin, odsávací otvory tvaru čtverec, některé výsledky prezentovány v příspěvku (Schuster, 2005b),

LK2 = model celé kabiny s jedním asymetricky umístěným odsáváním, umístění a počet výdechových otvorů byl dán konstrukčními úpravami čelní části lokomotivy a výsledky předchozích simulací (LK1),

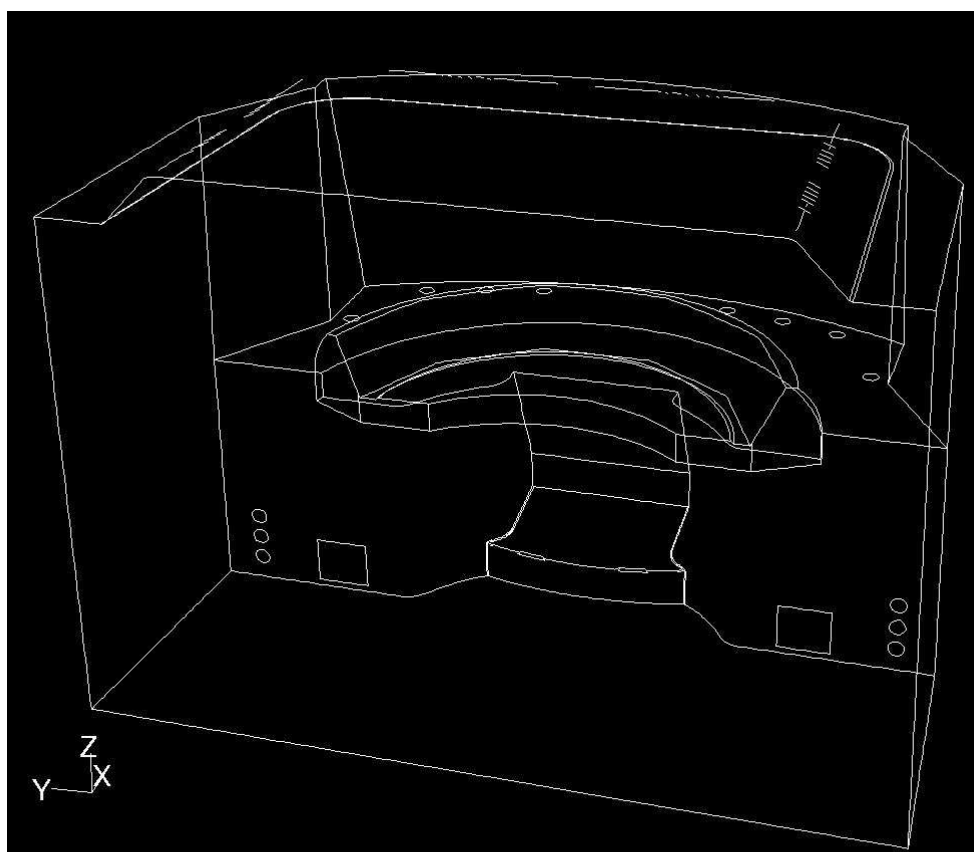
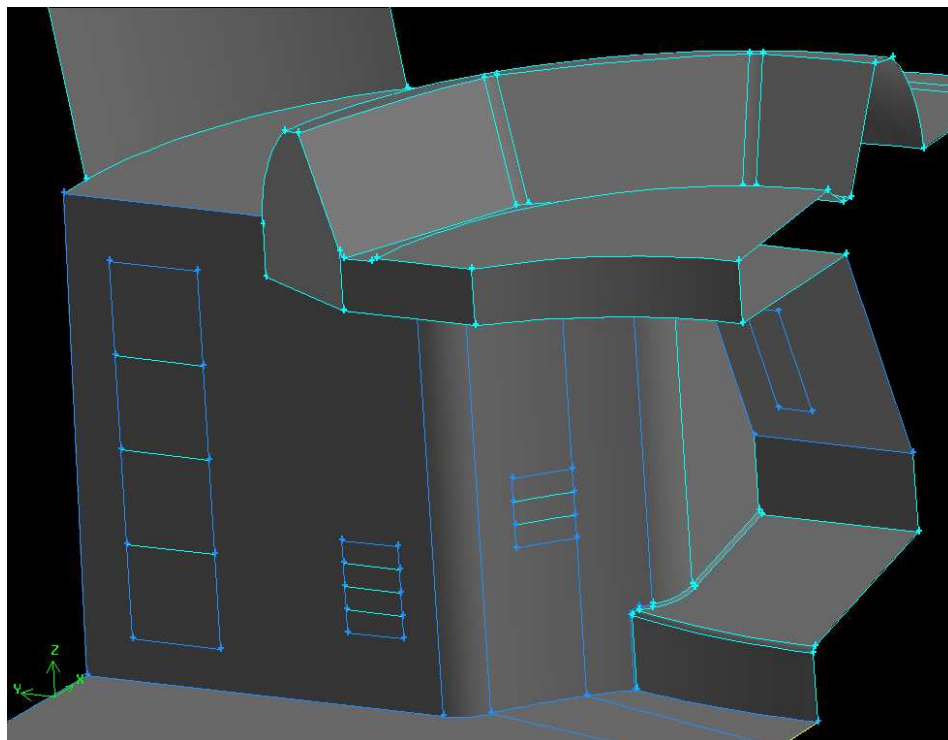
LK3 = model celé upravené kabiny, tvar modelu po konstrukční úpravě v oblasti čelního skla a pultu, ventilační otvory kruhové – výdechové u čelního okna a sloupku, jeden odsávací otvor v levé části boku pultu,

LK4 = model symetrické kabiny, změna tvaru stropu kabiny a umístění kruhových výdechových a odsávacích otvorů.

Všechny tvary modelů kabiny byly ve virtuální podobě získány jako výstup z konstrukčních CAD systémů. Ve ventilačním systému byly předpokládány klima-jednotky o různém regulovatelném průtoku. Rozměry a tvar ploch výdechových a odsávacích otvorů odpovídal typům mřížek uvedených v katalogu výrobců. Vnitřní objem modelu kabiny zahrnoval pouze řídicí pult, neuvažoval se objem postavy strojvůdce a sedačky, objem modelu byl omezen přepážkou mezi kabinou a strojovnou lokomotivy.

### 3. Výpočtový model a nastavení výpočtů

Výpočtový model (pro CFD program FLUENT ve formě datového souboru) obsahuje informace o tvaru a výpočetní síti výpočtové oblasti, o typu a parametrech okrajových podmínek a údaje o nastavení vlastního iteračního procesu. Výpočtový model umožňoval velkou variabilitu ve volbě velikosti a polohy ploch ventilačních otvorů pouhou záměnou typu okrajové podmínky na vybrané ploše („wall“ nebo „mass-flow inlet“ popř. „pressure-outlet“).



**Obr. 1:** Model kabiny, pohled přes řídicí pult. Nahoře varianta LK1 – model poloviny kabiny s hranatými otvory s vyznačením všech ploch použitelných pro ventilační otvory, dole varianta modelu celé kabiny LK3 s nesymetricky umístěnými kruhovými otvory výdechů

Výpočetní síť modelu byla heterogenní a obsahovala buňky typu čtyřstěn a šestistěn, počet buněk byl pro varianty modelu kabiny LK1 - 4 různý a pohyboval se od 320 tisíc pro model poloviny kabiny až po 850 tisíc pro model celé kabiny.

Hodnoty průtoku vzduchu na vstupech do modelu byly dány hodnotou dodávaného množství vzduchu z vybrané klima-jednotky (200, 300, 400, 600 m<sup>3</sup>/h) a konstrukčním řešením ventilačního okruhu. Proudícím médiem byl vzduch o teplotě 22°C a s tlakem 1013,25 hPa.

Typ okrajových podmínek odpovídal řešené variantě modelu:

- na vstupu do výpočtové oblasti v plochách výdechových otvorů – „mass-flow inlet“ nebo „velocity inlet“ podle návrhu ventilačního okruhu,
- na výstupu z oblasti v plochách odsávacích otvorů – „pressure-outlet“,
- v případě modelu poloviny kabiny podmínka „symmetry“ v rovině symetrie,
- ostatní plochy povrchu kabiny, pultu a stěn – „wall“.

Pro všechny varianty modelu kabiny byl použit stejný základní turbulentní model – jednorovnicový model typu „Spalart-Allmaras“ pro turbulentní kinematickou vazkost. Vzhledem k tomu, že účelem výpočtů bylo porovnávání variant uspořádání ventilačních otvorů, bylo výše uvedené nastavení typů okrajových podmínek a turbulentního modelu zachováno pro výpočet všech variant.

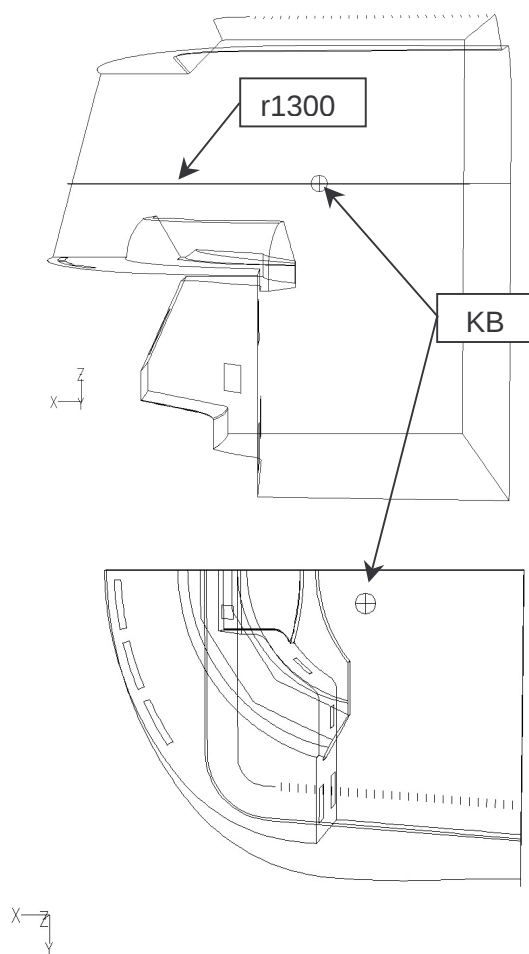
Nastavení parametrů 3D stacionárního numerického řešiče bylo pro všechny případy výpočtu obdobné, hlavní parametry nebyly ve výpočtech měněny z důvodů možného porovnání výsledků. Podmínky pro řízení konvergence iteračního procesu byly nastaveny tak, že standardní hodnoty reziduí byly dosaženy v průměrných výpočetních časech. Pro některé varianty modelu (LK4 – polovina a celá kabina) byla použita paralelizace výpočtu s výrazným zkrácením výpočetního času.

Provedené testy simulací s cílem posouzení možností lepšího zachycení reálných stavů a získání přesnějších výsledků byly prováděny pro variantu LK4 modelu kabiny a jsou uvedeny v další části. Hlubší diskuse nad numerickým základem řešení ventilace kabiny není však předmětem tohoto příspěvku, pouze je uvedeno několik postřehů z uživatelského pohledu k možnostem volby okrajových podmínek pro zadání simulačních výpočtů proudění.

#### 4. Výsledky

Cílem numerických simulací je ověřit možnosti ventilace kabiny strojvůdce pro různé varianty umístění a rozměry větracích otvorů v řídicím pultu pod čelním oknem a v bocích pultu. Vypočítané hodnoty průtoku a rychlostí vzduchu v navržených variantách modelu byly porovnávány s hodnotami uvedenými v platných normativních předpisech (UIC 651, článek 2.9.3.1 popř. v ON 28 5201, čl. 148). Základním požadavkem normy na ventilační zařízení je určena hodnota rychlosti vzduchu ve výšce 1300 mm nad patním bodem kabiny (přibližně ve výšce hlavy strojvůdce), která má být v intervalu 0,1 – 0,3 m/s a nesmí převýšit 0,5 m/s.

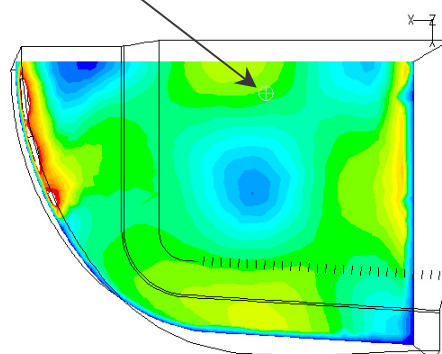
U sledovaných variant modelu kabiny LK1 – LK4 byly vyhodnocovány dosažené hodnoty rychlostí v kontrolním bodu popř. ve vrcholech kontrolní oblasti normou vymezující polohu hlavy strojvůdce v kabině. Poloha pro jeden kontrolní bod KB (umístěn v bodu o souřadnicích  $x = 0,75$  m,  $y = 0,16$  m,  $z = 1,3$  m) a referenční rovina r1300 (v normou požadované výšce  $z = 1300$  mm) je patrná z obr. 2. Na dalších obrázcích vypočítaných hodnot rychlostí je buď naznačen bod nebo slabé linky určující umístění normou dané kontrolní oblasti.



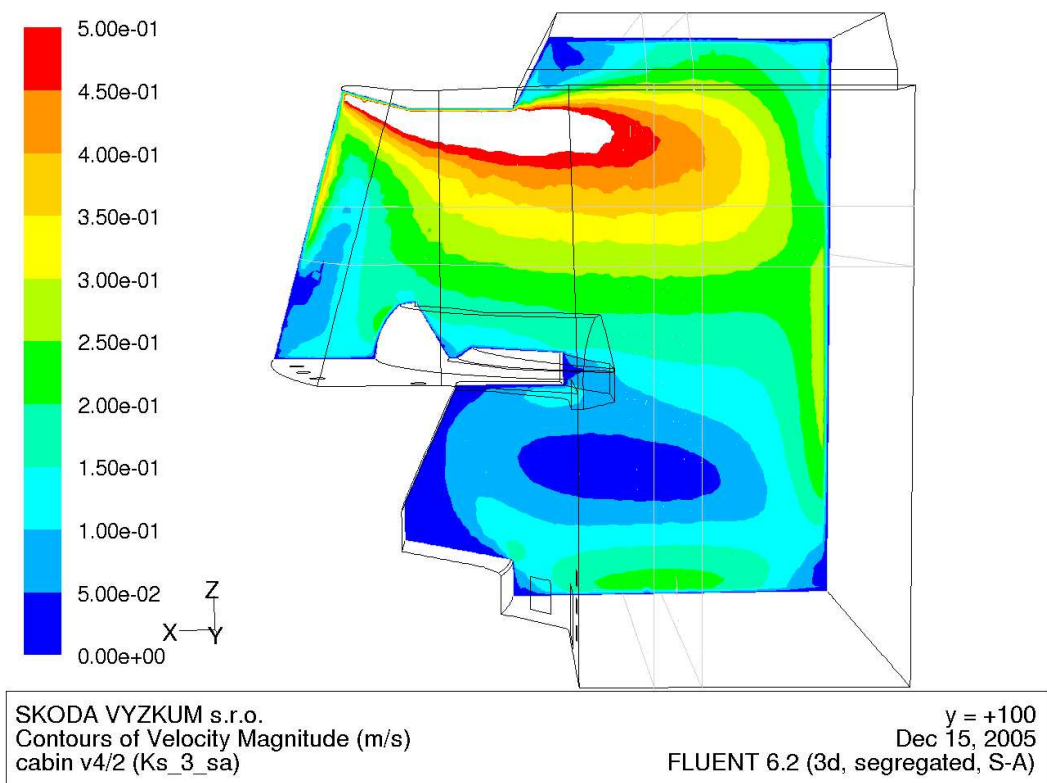
**Obr. 2.** Pohledy z boku a shora na kabinu (varianta LK1) s umístěním kontrolního bodu KB a horizontální referenční roviny r1300

| varianta | $V_{KB}$ (m/s) |
|----------|----------------|
| LK1-k13  | 0.2428         |

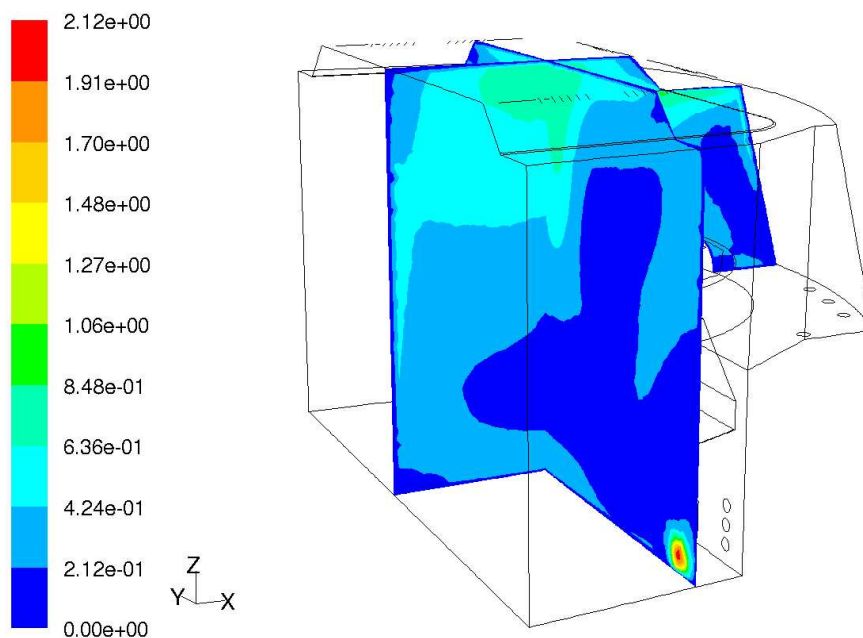
**Tab. 1.** Hodnota rychlosti vzduchu v kontrolním bodu KB pro vybranou variantu uspořádání ventilačních otvorů (výdechy s obdélníkovými štěrbinami pod čelním sklem)



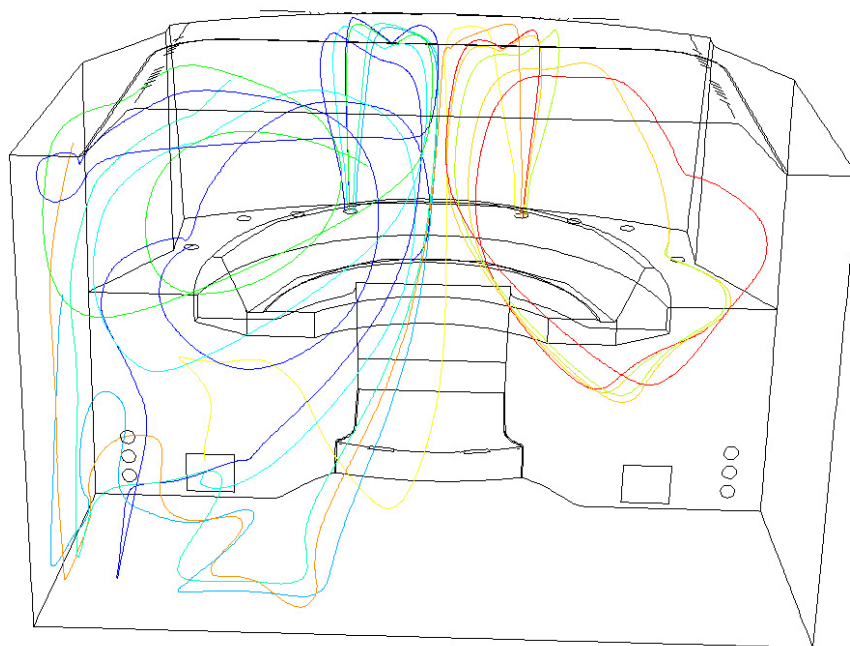
**Obr. 3.** Velikost rychlosti vzduchu v referenční rovině r1300 pro variantu modelu kabiny LK1-k13



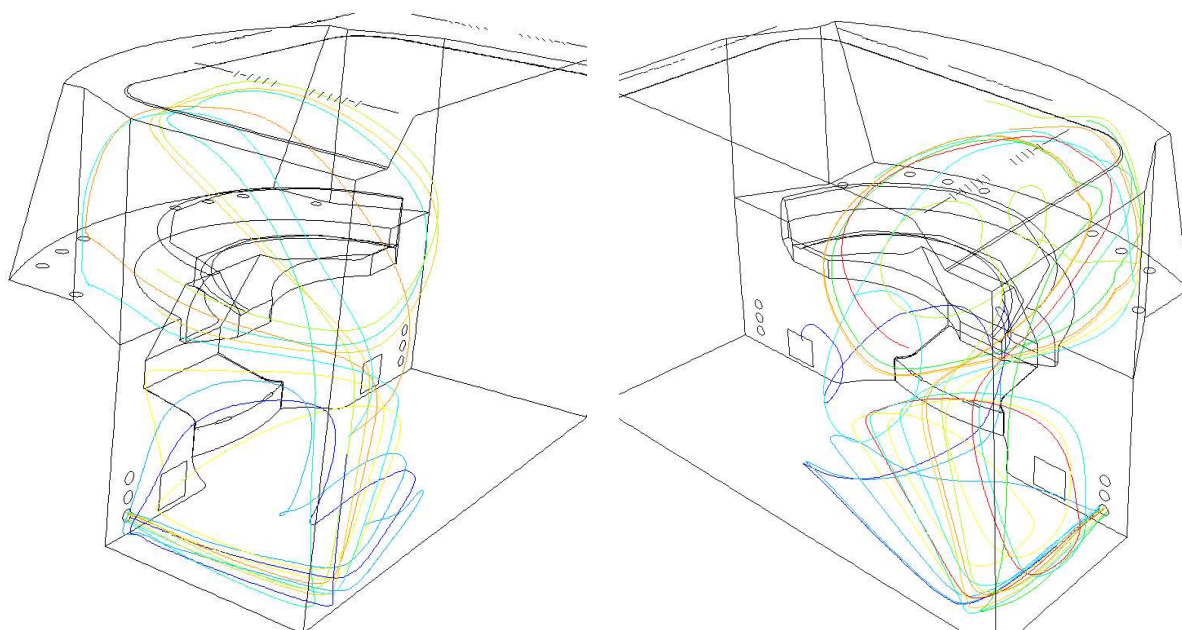
**Obr. 4:** Rozložení velikosti rychlosti ve vertikální rovině  $y=+100$  mm, interval zobrazení hodnot je v normou přípustných hodnotách 0 – 0,5 m/s.



**Obr. 5:** Rychlost proudění ventilačního vzduchu v modelu kabiny – vliv výdechu v boku pultu



**Obr. 6:** Proud ventilačního vzduchu vytékající otvory pod čelním sklem



**Obr. 7:** Proud ventilačního vzduchu vytékající otvory v boku řídicího pultu

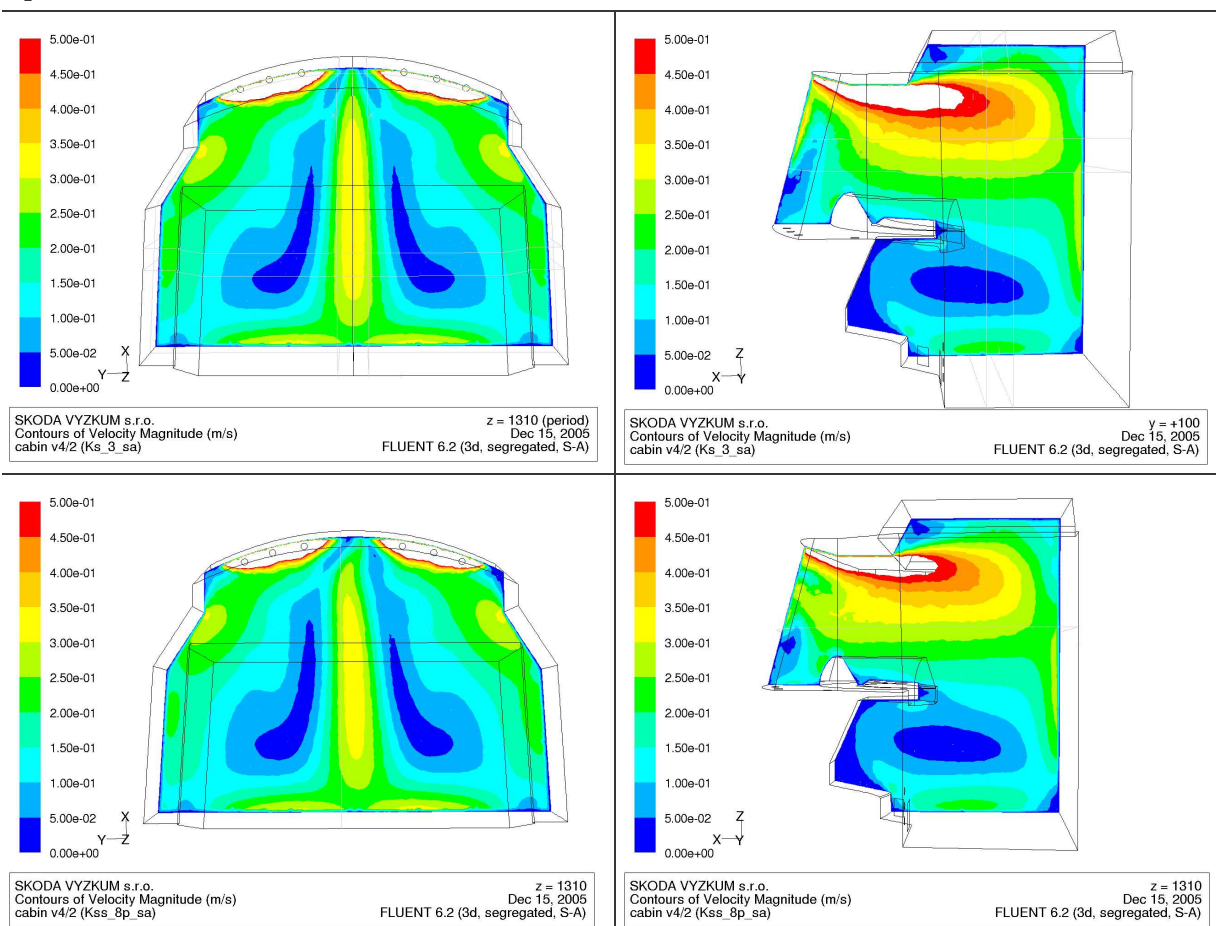
## 6. Volba typů okrajových podmínek

Návrh uspořádání ventilačních otvorů předpokládal např. pro variantu LK4 symetrické umístění otvorů, což umožňovalo počítat proudění pouze v modelu jen s polovinou objemu kabiny při kterém došlo k výraznému snížení počtu elementů výpočetní sítě a zkrácení výpočetního času (nebo naopak poloviční model mohl být opatřen podrobnější hustější sítí). Pro model kabiny byl v podélné rovině symetrie použit typ okrajové podmínky „symmetry“.

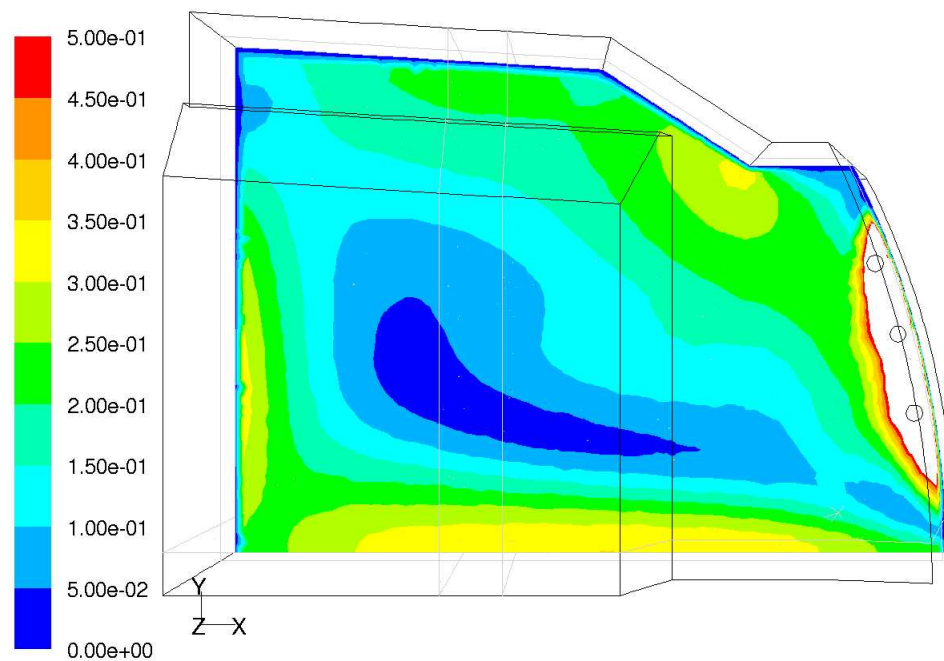
Model kabiny LK4 vybízí k testům simulací s cílem získání přehledu a posouzení možností pro lepší a věrohodnější zachycení reálných stavů a získání přesnějších výsledků numerických simulací. Test umožnil porovnání výsledků výpočtů proudění v modelu poloviny kabiny a v modelu celé kabiny a posoudit vliv okrajové podmínky „symmetry“ na získané výsledky. Výsledky ve formě rozložení velikosti rychlostí ve dvou rovinách modelů jsou uvedeny na obr. 8. Prostým porovnáním není patrný významný rozdíl v hodnotách rychlostí a charakteru rozložení rychlostí zejména ve sledované oblasti hlavy strojvůdce.

Model LK4 byl ještě použit na krátký test výpočtů proudění pomocí dvou turbulentních modelů. Zde byl mimo modelu turbulence Spalart-Allmaras použit i standardní model k-eps. V obou případech bylo pro zadání turbulentních modelů použito standardních hodnot parametrů nastavení programu FLUENT. Rozložení rychlostí v horizontální rovině je uvedeno na obr. 9, na kterém jsou patrné drobné rozdíly v rychlostech. Rozdíly je však možné považovat za principiálně neovlivňující výsledky vzhledem k dodržení normou předepsaných podmínek ve fázi hledání konstrukčně optimálního návrhu.

K oběma testům je potřeba poznamenat, že průběh konvergence výpočtu a počet iterací pro splnění zvolených kritérií konvergence reziduí byl pro porovnávané testy odlišný. Výpočet modelu celé kabiny LK4 vzhledem k velkému počtu elementů sítě byl proveden paralelním způsobem.

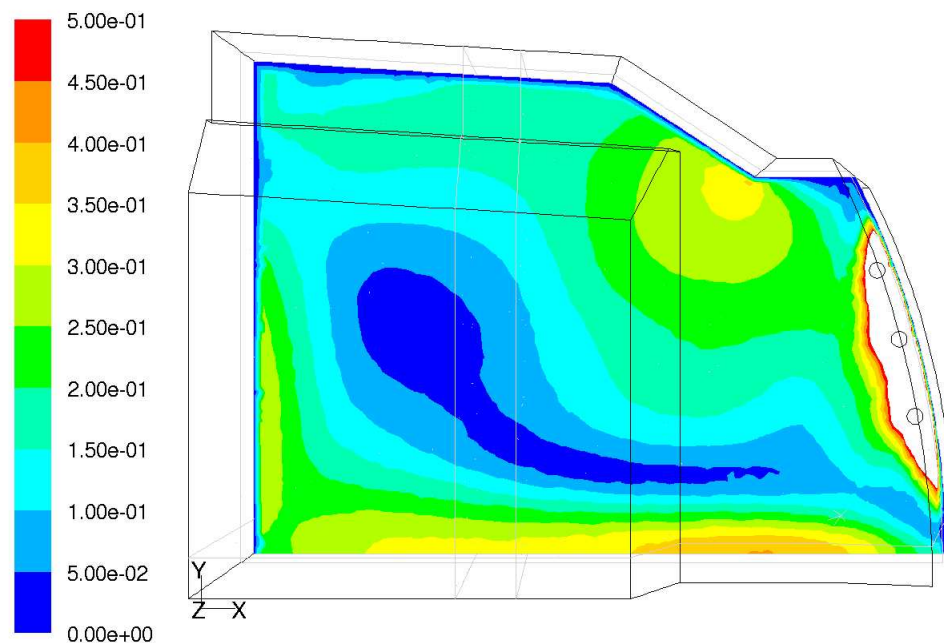


**Obr 8:** Porovnání výsledků výpočtů pro model kabiny s podmínkou „symmetry“ (nahore) a pro model celé kabiny (dole), ukázány rychlosti proudění ventilačního vzduchu v horizontální rovině (v levém sloupci) a ve vertikální rovině (pravý sloupec) modelu kabiny varianty LK4



z = 1310  
Contours of Velocity Magnitude (m/s)  
cabin v4 / 2

SKODA VYZKUM s.r.o.  
Dec 12, 2005  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, S-A)



z = 1310  
Contours of Velocity Magnitude (m/s)  
cabin v4 / 2

Dec 12, 2005  
FLUENT 6.2 (3d, segregated, ske)

**Obr. 9:** Porovnání ventilace v modelu LK4 (polovina symetrické kabiny), rozložení rychlostí v horizontální rovině jako výsledek testu výpočtu – nahoře Spalart-Allmaras turbulentní model, dole standardní k-eps model

## 7. Závěr

Příspěvek ukazuje přístup k řešení technického problému z průmyslové praxe v oboru proudění pomocí komerčního programu. Numerické simulace umožnily propočítat rozložení rychlostí ve velkém počtu variant uspořádání výdechových a odsávacích otvorů pro ventilaci.

Obecným výsledkem provedených sad numerických simulací proudění při ventilaci kabiny je potvrzení všeobecného poznatku, že větší počet výdechových otvorů rozmístěných pod čelním sklem nebo na povrchu řídicího pultu přináší rovnoměrnější rozložení rychlosti v kontrolní oblasti dané normou. Sled výpočtů proudění v několika variantách modelu kabiny dokumentuje vývoj konstrukčního řešení ventilace, který je spojen s návrhem celého čela elektrické lokomotivy, umístěním a výkonem klima-jednotky a s návrhem potrubního systému ventilačního okruhu. Tím numerické simulace umožnily rychle reagovat na konkrétní požadavky konstruktérů a výpočetní postup pro praxi znamenal možnost vybírat optimální konstrukční řešení vyhovující předepsaným normám.

## 8. Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci řešení úkolů Výzkumného centra kolejových vozidel, které je podporováno MŠMT ČR (projekt č. 1M0519).

## 9. Literatura

- Schuster, M. (2005a) Proudění v interiéru kolejových vozidel, in: *sborník konference "55 let Fak. stroj. VŠB"*, (editor L. Hružík), VŠB – TU, Ostrava, str. 161 - 166
- Schuster, M. (2005b) Ventilace kabiny strojvůdce, in: *Proc. 21<sup>st</sup> Conf. with Int. participation Computational mechanics* (editor J. Vimmr), ZČU, Plzeň, str. 535 - 542