



**26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOLAJOVÝCH
VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko**

<https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.31>

PRÚDENIE VZDUCHU NA ZOTRVAČNÍKOVOM BRZDOVOM STAVE UIC

THE AIR FLOW FOR THE INERTIA BRAKING STATE UIC

Andrej SUCHÁNEK^{*)}, Pavol ŠTASTNIAK, Jozef HARUŠINEC, Mária LOULOVÁ

1 ÚVOD

V súčasnosti sa železničná doprava využíva na prepravu tovaru a osôb. Pre svoju vysokú kapacitu je dôležité dbať na spoľahlivosť a bezpečnosť pri preprave. [2, 8,] Na zaistenie bezpečnosti železničných vozidiel sa vykonávajú certifikačné skúšky. Tieto skúšky sú vykonávané na brzdových stavoch s ohľadom na príslušné normy, ktoré musia spĺňať aj samotné brzdové stavy. Skúšky sú z časového, priestorového a ekonomického hľadiska výhodnejšie, ako skúšky v reálnych podmienkach. [1, 4, 11,] Avšak pre celkové schválenie do trvalej prevádzky je potrebná aj skúška v reálnych podmienkach.



Obr. 1 UIC brzdový stav

Fig. 1 UIC brake test bench

^{*)} **Ing. Andrej SUCHÁNEK, PhD.,** Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Univerzitná 8215/1, 010 01 Žilina, Slovenská republika, tel.: +421 41 513 1753, e-mail: andrej.suchanek@fstroj.uniza.sk, zaoberá sa teóriou koľajových vozidiel, pevnostnými a dynamickými výpočtami na vozidlách,

Ing. Pavol ŠTASTNIAK, PhD., tel.: +421 41 513 2562, e-mail: pavol.stastniak@fstroj.uniza.sk,

Ing. Jozef HARUŠINEC, PhD., tel.: +421 41 513 2570, e-mail: jozef.harusinec@fstroj.uniza.sk,

Ing. Mária LOULOVÁ, PhD., tel.: +421 41 513 2556, e-mail: maria.loulova@fstroj.uniza.sk.

Zotrvačnickový brzdový stav UIC (**obr. 1**) je akreditovaný pre dva typy brzdových skúšok. [3, 9] Súčasťou brzdového stavu je chladiaci okruh, teda vzduchotechnika, ktorá privádza vzduch ku brzdovým komponentom. Toto chladiace médium musí spĺňať parametre predpísané vo vyhláske. Vzhľadom na rôznu konštrukciu jednotlivých brzdových stavov sú predpísané tzv. chladiace konštanty. Tieto konštanty sú stanovené príslušnou metodikou a musia byť pri skúškach dodržané. [5, 10]

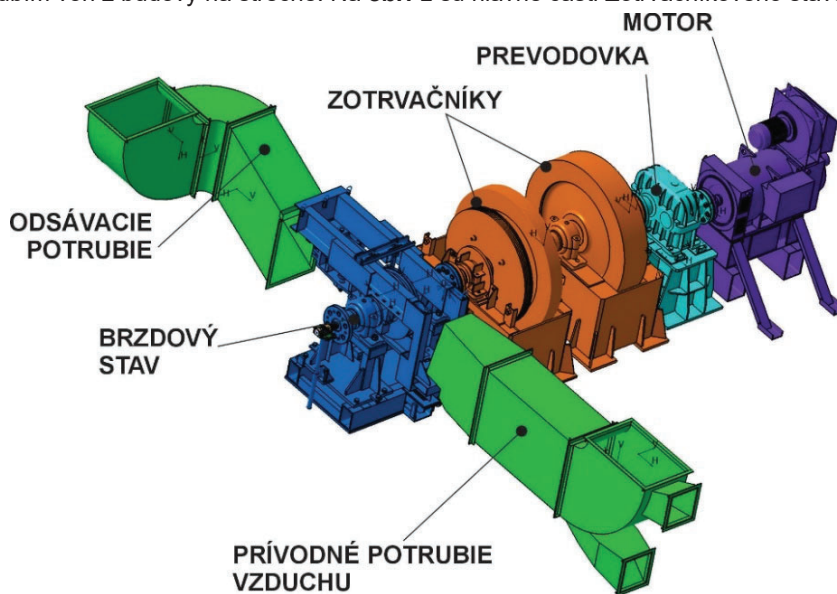
V príspevku sa zameriavame na návrh simulovaných fyzikálnych javov a aplikáciu zodpovedajúcich matematických modelov. Potrebné bolo vytvoriť geometrický model, vytvoriť sieť a stanoviť okrajové podmienky výpočtu.

2 VZDUCHOTECHNIKA BRZDOVÉHO STAVU UIC

Účelom vzduchotechniky brzdového stavu je privádzať vzduch k stanovištu brzdy v dostatočnom množstve a kvalite a dostatočnou rýchlosťou. [6, 7] Vzduchotechnika zabezpečuje správne podmienky chladenia a zabezpečuje odvod vzduchu za brzdovou jednotkou spolu s ostatnými produktmi brzdenia ako je voda a pevné častice uvoľňujúce sa z komponentov brzd.

Vzduchotechnika je poháňaná ventilátormi zabezpečujúcimi prívod vzduchu k brzdovému stavu. Tie sú umiestnené v strojovni vzduchotechniky. Samotné ventilátory, sú poháňané asynchrónnymi trojfázovými elektromotormi prostredníctvom remeňov. Primárny ventilátor v spolupráci s pomocným ventilátorom vedia zabezpečiť rýchlosť vzduchu na ústí prívodného potrubia $27,77 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Na reguláciu slúži frekvenčný menič.

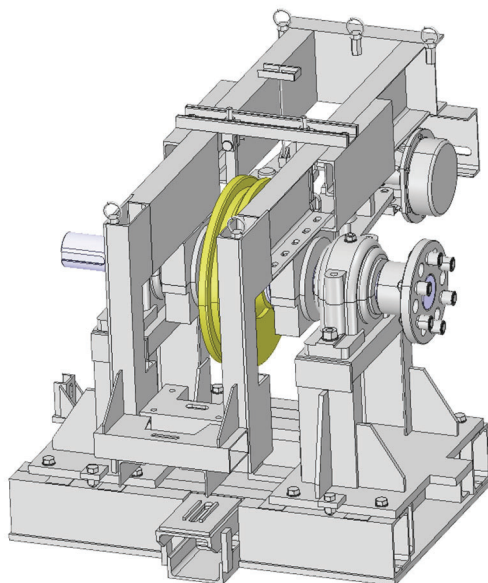
V samotnej miestnosti brzdového stavu je potrubie prívodu vzduchu niekoľkokrát ohnuté – pred aj po rovnom úseku nad veľinóm, potom ešte trikrát o pravý uhol tak, aby bol vzduch nasmerovaný priamo požadovanou rýchlosťou na brzdené teleso. Za brzdovou jednotkou je umiestnený začiatok odsávania. Vzduch je pomocou ventilátorov vytlačovaný potrubím von z budovy na streche. Na **obr. 2** sú hlavné časti Zotrvačnickového stavu. [12]



Obr. 2 UIC brzdový stav s príľahlým potrubím
Fig. 2 UIC brake test bench with pipeline

3 PRÚDENIE VZDUCHU NA BRZDOVOM STAVE

Dôležitou časťou pri simulácii bolo vytvorenie optimálneho 3D CAD modelu brzdového stavu, zjednodušiť kompletný geometrický model na model použiteľný pre CFD simulácie. Model brzdového stavu pred úpravami geometrie je na **obr. 3**.



Obr. 3 Brzdový stav pred úpravami geometrie

Fig. 3 The test bench before geometry modification

sa zaoblenie ramien. Jedným z najväčších kompromisov je vyplnenie hlavného rámu, ktorým sa zablokuje jedna významnejšia cesta úniku vzduchu od kotúča (zredukovanie prvkov siete o viac ako štvrtinu).

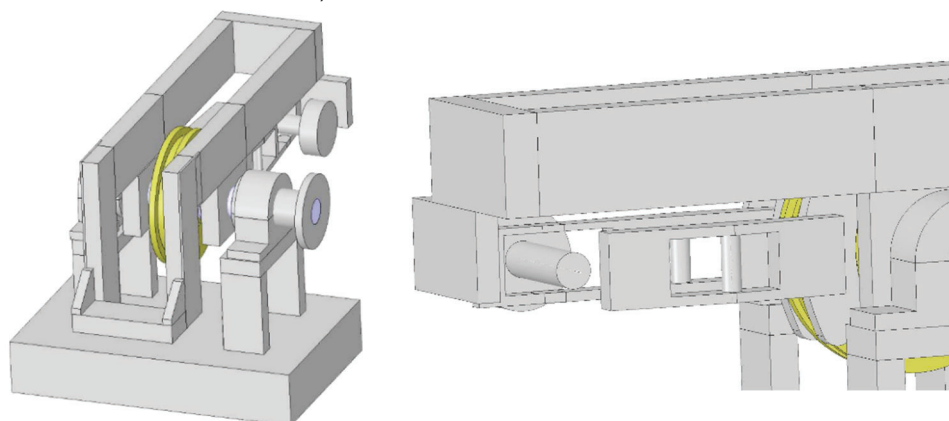
Každý tvarový prvok vyžaduje určitý počet prvkov siete na svoje vlastné rozlíšenie. Na vytvorenie kvalitnej siete je potrebné zmenšiť veľkosť elementov siete alebo odstrániť tvarový prvok. Pri úprave modelu bol braný ohľad na výpočtovú náročnosť úlohy.

Odstránenie malých súčiastok, vyplnenie dier po nich, zjednodušenie kotúča.

Podstavu sme nahradili jednoliatym telesom, odstránený bol držiak snímača, vyplnili sa profily s dutými prierezmi, odstránili sa rebrá podopierajúce stĺpy pod ložiskami.

Zjednodušili sa ložiskové skrine, guľové čapy boli zredukované na valcové objekty, ramená sa zjednodušili drobným posunutím stien.

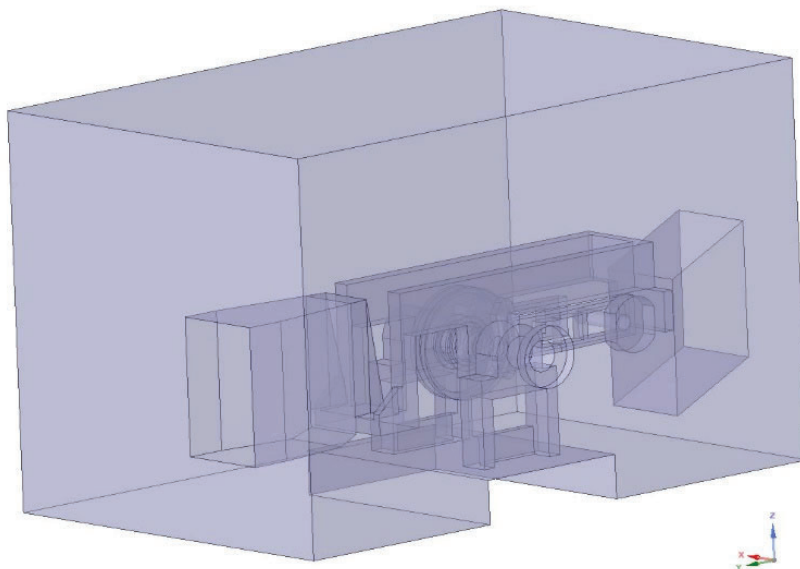
Zjednodušila sa sústava brzdového valca, odstránilo



Obr. 4 Upravený brzdový stav (vľavo predná časť, vpravo zadná časť)

Fig. 4 The test bench after modification

Po vytvorení zjednodušeného modelu (**obr. 4**) sme ho konvertovali do CFD modelu vytvorením telesa reprezentujúceho výpočtovú doménu pre výpočet prúdenia. Obálka bola vytvorená pomocou príkazu „Enclosure“ tak, aby korešpondovala s ochranným posuvným rámom brzdového stanovišťa. Z obálky boli nakoniec odstránené potrubné rúry. Výsledný CFD model je zobrazený na **obr. 5**. Simulácia bola vykonaná pre ventilovaný a neventilovaný kotúč.



Obr. 5 CFD model zjednodušeného brzdového stavu

Fig. 5 The CFD model of the simplified test bench

3.1 Neventilovaný kotúč

Úlohou bolo vytvoriť simuláciu prúdenia vzduchu chladiaceho média – vzduchu, ktorá popíše a preukáže správanie vzduchu v priestore brzdového stavu. Sekundárnym cieľom bolo stanovenie možnosti ďalšieho zjednodušenia modelu. Vzhľadom na povahu a zložitosť problému bolo pri tvorbe siete pre tento model nevyhnutných niekoľko kompromisov. Jedným z nich je akceptovanie nízkeho rozlíšenia siete pri stenách symbolizujúcich ochranný posuvný rám brzdového stanovišťa, pri stenách symbolizujúcich prívodné potrubie a podlahu. Takisto je akceptovaná nižšia kvalita siete zo strany ložiskových skríň odvrátených od kotúča.

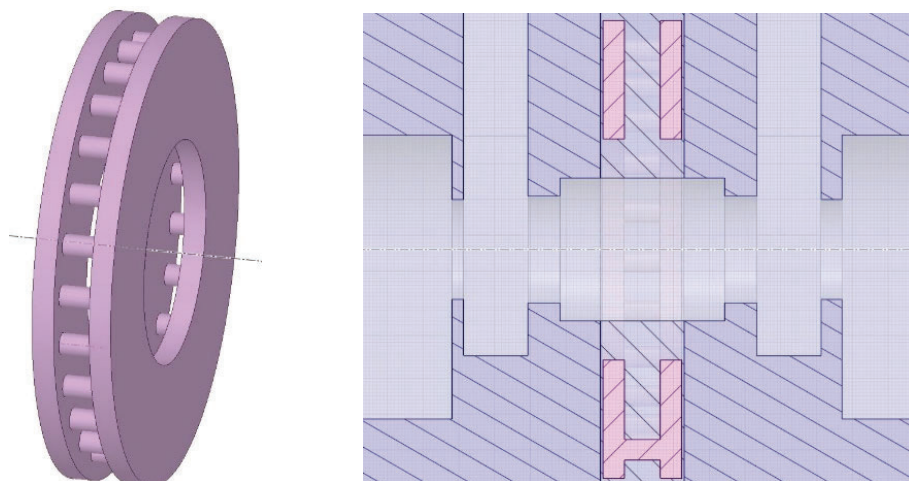
Pre túto simuláciu bol použitý turbulentný model $k-\omega$ SST ($y^+ < 5$ na všetkých stenách kotúča, s rastúcou vzdialenosťou od kotúča je akceptovaná aj zhoršujúca sa kvalita siete, a to kvôli výpočtovej náročnosti). Celá výpočtová doména pozostáva z jediného objemového telesa, ktorého materiálom je vzduch. Samotný kotúč je reprezentovaný dutinou kopírujúcou jeho tvar, ktorú musí vzduch obtekať.

Výstupy vzduchu zo simulovanej domény sú dva, jeden z nich predstavuje odsávanie (na tomto výstupe je okrajovou podmienkou prietok odsávania – „mass-flow outlet“) a druhý predstavuje priestor pri podlahe, kadiaľ môže unikať vzduch. Tento druhý výstup je nastavený ako tlakový výstup „pressure outlet“ s vonkajším pretlakom 0 Pa, teda vzduch môže cez túto stenu voľne unikať aj vnikáť do systému. Všetky ostatné steny modelu sú nastavené ako fyzické steny, dokonale hladké (zanedbaná drsnosť). Rotáciu kotúča je simulovaná rýchlosť vlaku $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

3.2 Ventilovaný kotúč

Simulácia ventilovaného kotúča sa od simulácie predchádzajúcej líši v dvoch dôležitých faktoroch. V prvom rade je to tvar kotúča, ktorým je teraz zjednodušený ventilovaný kotúč (**obr. 6** vľavo). Zjednodušenie spočíva v tom, že ventiláčn^é elementy brzdového kotúča koľajového vozidla sú zredukované na obyčajné valčeky (25 valčekov) rozmiestnených v rovnakej vzdialenosti od osi rotácie kotúča. Toto zjednodušenie je kompromisom medzi výpočtovou náročnosťou komplexného ventilovaného kotúča a elementárnou reprezentáciou ventilovaného kotúča. Je zrejmé a predpokladané, že ventiláčn^ý efekt, tak, ako funguje v bežnej prevádzke, nebude v tejto simulácii vďaka takému drastickému zjednodušeniu viditeľn^ý, zato však bude vnútro kotúča chladené určitým množstvom pretekajúceho vzduchu.

Druhým faktorom je spôsob rotácie kotúča v rámci simulácie. Tu je využitý princíp „sliding meshes“, tak, ako bol popísaný v prehľade literatúry s jeho výhodami aj nevýhodami. Vnútri statickej domény bola vytvorená valcová doména s dutinou v tvare kotúča (**obr. 6** vpravo), ktorá sa bude otáčať. Alternatívnym spôsobom je ešte použitie prekrytia sietí (overset), táto možnosť je však pre nedostatok priestoru medzi kotúčom a platničkami zavrhnutá.

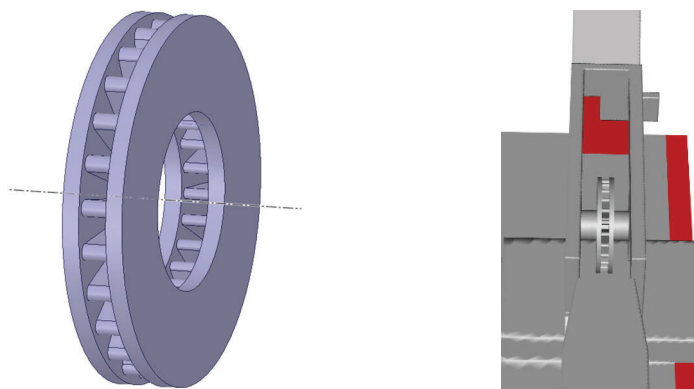


Obr. 6 Zjednodušený ventilovaný kotúč

Fig. 6 The CFD model of the simplified test bench

Všetky okrajové podmienky z prípadu neventilovaného kotúča sa zhodujú s okrajovými podmienkami v tejto simulácii. Navyše, niektoré ďalšie podmienky sú pridané. Novovytvorená valcová doména je uvažovaná ako samostatná oblasť, ktorá sa pohybuje rotačným pohybom okolo svojej osi. Parametre tohto pohybu sú definované ako simulácia pohybu vlaku rýchlosťou 60 km.h⁻¹. Novovzniknuté steny medzi valcovou doménou a pôvodnou obálkou brzdového stavu sú spojené do obyčajného rozhrania. Všetky steny ventilovaného kotúča takisto rotujú rovnakými otáčkami ako celá doména.

Za rovnakých okrajových podmienok bol simulovaný aj ventilovaný kotúč s radiálnymi lopatkami (**obr. 7**). Jedná sa o komplikovanejšiu geometriu ako v predchádzajúcom prípade. Tým je vyžadovaný väčší počet elementov na rozlíšenie samotného kotúča a aby výpočtová náročnosť zostala približne rovnaká, je potrebná ďalšia úprava a zjednodušenie geometrie.



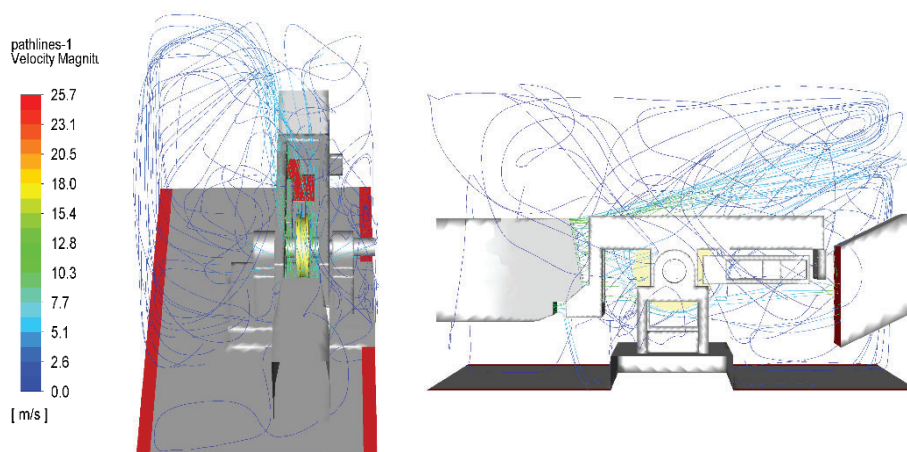
Obr. 7 kotúč s radiálnymi lopatkami

Fig. 7 The disk with radial vanes

3.3 Výsledky simulácií

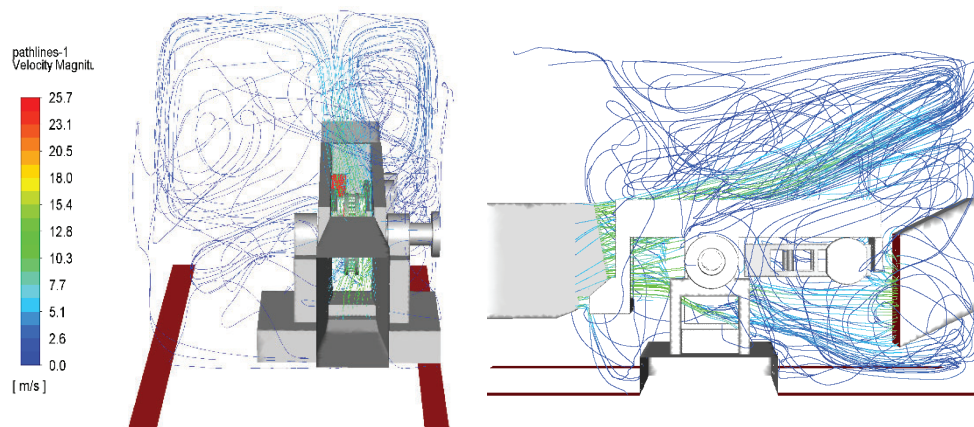
Výsledky prúdenia sú prezentované ako súbor porovnaní prípadu ventilovaného a neventilovaného kotúča pri rovnakých simulovaných podmienkach. Všetky prípady uvažujú s rotáciou reprezentujúcou rýchlosť vlaku $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Vzhľadom na komplikovanosť geometrie aj po zjednodušení sú jedným z výhodných nástrojov na prezentovanie výsledkov aj v tomto prípade trajektórie myslenných bezrozmerných nehmotných častíc vzduchu. Trajektórie sú vyhodnocované s počiatkami v 1100 bodoch umiestnených na vstupe vzduchu, pričom pre prehľadnosť je vždy zobrazený iba náhodný výber z nich (**obr. 8**, **obr. 9** a **obr. 10**).

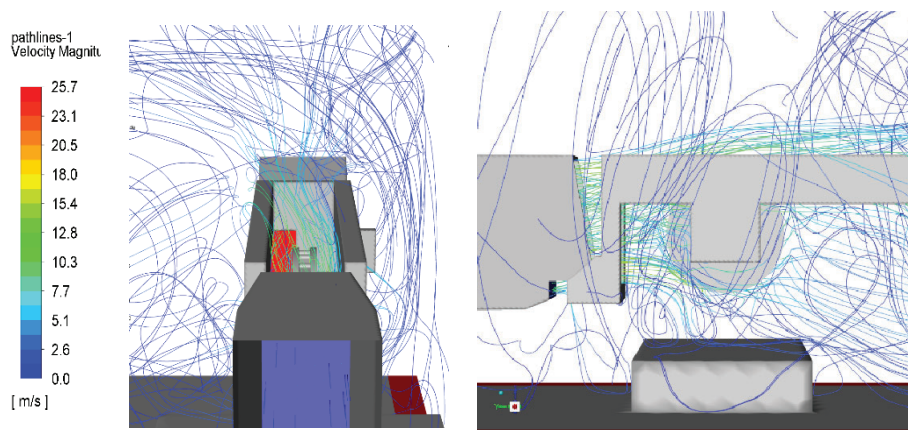


Obr. 8 Trajektórie prúdenia – neventilovaný kotúč

Fig. 8 Flow trajectories – non-ventilated disc

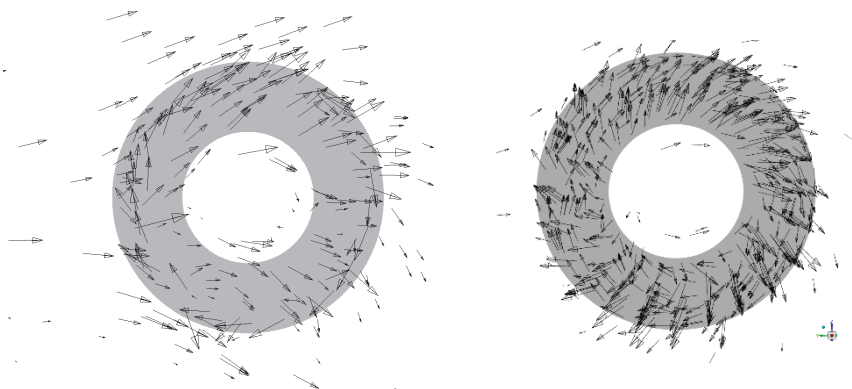


Obr. 9 Trajektórie prúdenia – zjednodušený ventilovaný kotúč
Fig. 9 Flow trajectories – simplified disc with radial vanes



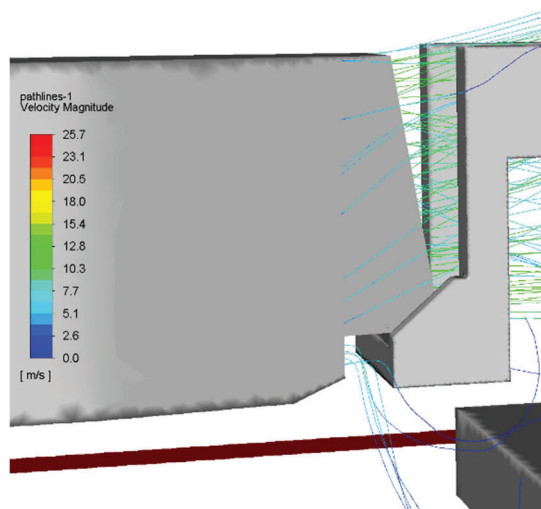
Obr. 10 Trajektórie prúdenia – ventilovaný kotúč s radiálnymi lopatkami
Fig. 10 Flow trajectories – ventilated disc with radial vanes

Ventilačný efekt nie je vyvolaný rotáciou zjednodušeného ventilovaného kotúča, respektíve je len zanedbateľný (**obr. 11**). Toto je spôsobené geometrickým zjednotením ventilačných elementov. Pri kotúči s výraznejším ventilačným efektom sú rozdiely medzi oboma stranami kotúča menšie a teda nerovnomernosť prúdenia vzniknutá vplyvom zakrivenia potrubia alebo geometrie rámu je potláčaná, čo môže mať vplyv na rozdielne teploty trecích povrchov kotúča.



Obr. 11 Vektory rýchlostí v stredovej rovine kotúčov (zjednodušený vľavo, radiálny vpravo)
Fig. 11 Velocity vectors in the center plane of the disks (simplified on the left, radial on the right)

Na približnom pohľade na trajektórie (**obr. 12**) v tesnej blízkosti okolo ústia prírodného potrubia možno pozorovať, že niektoré trajektórie sú rámom odklonené od hlavného prúdu vzduchu smerom pod rám alebo do strany od rámu. Tým je časť vzduchu odvádzaná preč a znižuje sa chladiaci potenciál prúdenia. Je vhodné zistiť, koľko takých trajektórií je, a ktoré to sú. Tým sa dá popísať, ako by bolo vhodné modifikovať tvar rámu alebo potrubia tak, aby tento vzduch ostal v hlavnom prúde, ak je podiel odkloneného vzduchu významný.



Obr. 12 Miesta unikajúceho vzduchu v prednej časti rámu
Fig. 12 Places with escaping air in the front part of the frame

Je možné identifikovať tri oblasti, odkiaľ je vzduch primárne nasávaný:

- oblasť kotúča, teda vzduch nasávaný z oblasti brzdenia,
- vzduch víriaci nad rúrou odsávacieho potrubia,
- vzduch nasávaný od podlahy, do určitej miery teda vzduch z okolia.

4 ZÁVER

Zostava brzdového stavu je z hľadiska simulácie prúdenia vzduchu v jeho priestore geometricky komplikovaná. Z dôvodu dosiahnutia rozumných výpočtových časov na použitom hardvéri bolo potrebné urobiť niektoré zjednodušenia geometrie zariadenia. Skrutkové spoje, ktoré by vytvárali lokálne komplikované vírenia, avšak z globálneho hľadiska nevýznamné, boli odstránené. Otvorené profily boli uzatvorené, prípadne zjednodušené a detailné rádiusy boli nahradené ostrými hranami. To umožnilo vytvoriť dostatočne kvalitnú sieť a zistiť charakteristické tvary prúdenia v zariadení. Taktiež bola zjednodušená geometria kotúča aj s hriadeľom, nakoľko predstavovali rotačnú doménu simulujúcu rotáciu kotúča pri brzdení. Simulácia bola vykonaná pre rôzne typy kotúčov.

Zo simulácie bolo zistené, že nasávanie vzduchu je ovplyvnené najmä rámom, konkrétne jeho zadnou časťou (a do istej malej miery aj brzdovým ústrojenstvom), ktorá je tvorená U – profilmi a zabraňuje priamemu tečeniu vzduchu od kotúča k odsávaniu. Brzdový stav bol modifikovaný pridaním plechov spájajúcich odsávanie s podstavou brzdového stavu. Tým bolo eliminované prúdenie vzduchu priamo nasávaného od podlahy a odsávací potenciál bol presmerovaný ku kotúču.

PodĎakovanie

Táto práca bola vytvorená vďaka podpore projektu VEGA: 1/0513/22 - Výskum vlastností železničných brzdových komponentov v simulovaných prevádzkových podmienkach na zotrvačnikovom brzdovom stave.

Literatúra

[1] Gerlici, J., Gorbunov, M., Kravchenko, K., Kostyukevich, A., Nozhenko, O., Lack, T.: Experimental rigs for wheel/rail contact research. *Manufacturing Technology*, ISSN 1213-2489, Roč. 19, č. 5 2019, s. 909-916 Scopus. [2] Lack, T., Gerlici, J.: Modified Strip Method utilisation for wheel /rail contact stress evaluation. 9th international conference on contact mechanics and wear of rail/ wheel systems (CM2012): 27-30 August 2012, Chengdu, China: proceedings. Session 5: Fundamental contact mechanics. - Chengdu: Southwest Jiaotong University, S. 87-89, 2012. [3] Gerlici, J., Sakhno, V., Yefymenko, A., Verbitskii, V., Kravchenko, A., Kravchenko, K.: The stability analysis of two-wheeled vehicle model. *Machine modelling and simulations 2017* [electronic]. ISSN 2261-236X. 1. vyd. Londýn: Édition Diffusion Presse Sciences, 2018. s. [1-10]. DOI: 10.1051/mateconf/201815701007. [4] Lack, Gerlici, J.: Contact area and normal stress determination on railway wheel/rail contact. *Komunikácie - vedecké listy Žilinskej univerzity = Communications - scientific letters of the University of Žilina*. - ISSN 1335-4205. - Roč. 7, č. 2 (2005), s. 38-45. [5] Gerlici, J., Lack, T.: Analýza geometrie železničnej koľaje. *Komunikácie*. ISSN 1335-4205. Roč. 5, č. 1 2003, s. 43-51. SCOPUS. [6] Blatnický, M., Dižo, J., Sága, M., Gerlici, J., Kuba, E.: Design of a mechanical part of an automated platform for oblique manipulation. *Applied sciences* [electronic]. Switzerland, ISSN 2076-3417 (online). Roč. 10, č. 23, s. 1-24, 2020. [7] Gerlici, J., Gorbunov, M., Kravchenko, K., Domin, R., Kovtanets, M., Lack, T.: Slipping and skidding occurrence probability decreasing by means of the friction controlling in the wheel-braking pad and wheel-rail contacts. *Manufacturing technology*, ISSN 1213-2489. Vol. 17, no. 2, s. 179-186, 2017. [8] Lack, T., Gerlici, J.: Analysis of vehicles dynamic properties from the point of view of passenger comfort. *Communications*, ISSN 1335-4205. Vol. 10, No. 3, p. 10-18, 2008. [9] Dižo, J., Blatnický, M., Steisunas, S., Skočilasová, B.: Assessment of a rail vehicle running with the damaged wheel on a ride comfort for passengers. *MATEC Web of Conferences* 157, 2018. [10] Gerlici, J., Fomina, Y., Kravchenko, K.: The dependance of the aerodynamic drag on the rolling stock motion speed. In *Transportation research procedia* 55. S. 723-730., 2021. ISSN 2352-1465. [11] Zhang, S., Zhang, J.: Modeling and

Analysis on Fluid-solid-thermal Physical Field Coupling of Ventilated Disc Brake. Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Mechanical Engineering, 55(8), pp. 154-164. 2019. [12] **Steisunas, S., Dizo, J., Bureika, G., Zuraulis, V.:** Examination of Vertical Dynamics of Passenger Car with Wheel Flat Considering Suspension Parameters. Transbaltica 2017. Volume, 187, Page 235-241, DOI 10.1016/j.proeng.2017.04.370. 2017



Resumé

Príspevok pojednáva o skúmaní prúdenia vzduchu na Zotrvačnikovom brzdom stave UIC, ktorý je umiestnený v ťažkom laboratóriu na Katedre dopravnej a manipulačnej techniky. Bolo potrebné zjednodušiť celú konštrukciu pre potreby simulácie v programe ANSYS. Simuláciou bolo zistené, že nasávanie vzduchu je ovplyvnené najmä rámom, pre to bol brzdom stav modifikovaný pridaním plechov spájajúcich odsávanie s podstavou brzdom stavu. Výsledkom bolo eliminovanie prúdenia vzduchu priamo nasávaného od podlahy a odsávací vzduch bol presmerovaný ku kotúču.

Summary

The paper deals with the investigation of the air flow on the Inertia braking state UIC, which is located in a heavy laboratory at the Department of Transport and Handling Machines. It was necessary to simplify the whole construction for the necessities of simulation in ANSYS program. The simulation found that the air intake is mainly affected by the frame, so the brake stand was modified by adding sheets connecting the outlet to the base of the brake stand. As a result, the flow of air directly sucked in from the floor was eliminated, and the exhaust air was redirected to the brake disc.

