

## Disipacija toplote na zavornih kolutih mirujočih avtomobilov

Stergios Topouris<sup>1</sup> – Dragan Stamenković<sup>2,\*</sup> – Michel Olphe-Galliard<sup>1</sup> – Vladimir Popović<sup>2</sup> - Marko Tirović<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univerza v Cranfieldu, Šola za letalsko in vesoljsko tehniko, transport in proizvodnjo, Združeno kraljestvo

<sup>2</sup> Univerza v Beogradu, Fakulteta za strojništvo, Srbija

Praktično vse objavljene raziskave obravnavajo disipacijo toplote na vrtečih se zavornih kolutih, bodisi v mirujočem zraku bodisi v prečnem toku zraka. Za varnost v prometu pa je zelo pomembna tudi disipacija toplote v stacionarnih razmerah oz. na kolutih, ki se ne vrtijo.

Ko voznik parkira vozilo z ogretim zavorami, se začnejo zavorni koluti in obloge hladiti in njihova debelina se zmanjšuje, istočasno pa se toplota prenaša tako v okolje kakor tudi v zavorno sedlo, ki se zato širi. Zaradi kombiniranega vpliva teh pojavov se lahko znatno zmanjša pritezna sila, s tem pa tudi torne sile in zavorni moment. Tak scenarij je pogost in potencialno zelo nevaren, saj lahko vozilo, ki je parkirano na klancu, pobegne. Klasične parkirne zavore imajo določen raztezek v poteznem sistemu za vklapljanje, ki do določene mere blaži vpliv zmanjšanja pritezne sile. Z uvedbo električne parkirne zavore (EPB) je treba tovrstnim scenarijem posvetiti veliko pozornosti, saj je sistem zelo tog. Pri vseh sistemih EPB se zato zaradi prej opisanih vzrokov po parkiranju vozila aktivirajo izvršni motorji.

V članku je predstavljena eksperimentalna raziskava disipacije toplote na stacionarnih zavornih kolutih, ki je bila osredotočena na štiri zasnove kolutov: prezračevan kolut z radialnimi krilci, dve vrsti prezračevanih kolutov z ukrivljenimi krilci – brez lukenj in prečno prevrtan, in poln kolut. Eksperimenti so bili opravljeni na namenskem preizkuševališču z električnim ogrevanjem kolutov. Temperatura kolutov med ogrevanjem in ohlajevanjem je bila izmerjena z več termočleni in s termokamero. Preizkusi so dali ponovljive in točne meritve temperature in zanesljive napovedi koeficientov skupnega, konvektivnega in sevalnega prenosa toplote (HTC).

Pridobljene vrednosti HTC so primerljive z rezultati računalniške dinamike fluidov (CFD) za prezračevane kolute z radialnimi krilci in polne kolute, pri čemer so razlike bolj izražene pri prezračevanem kolutu. Meritve temperature kolutov so zanesljive pri kontaktnih (drsnih) termočlenih v fazi ohlajevanja, medtem ko so meritve temperature zraka v izbranih točkah nad kolutom (z žičnimi termočleni) obremenjene z variabilnostjo in izjemno občutljive tudi na najmanjša zračna gibanja v laboratoriju.

Hlajenje kolutov je povsem odvisno od sevanja in od naravne konvekcije, disipacija toplote pa se zmanjšuje s padanjem temperature, zlasti v sevalnem načinu prenosa toplote. Za razliko od disipacije toplote na vrtečih se kolutih, kjer je običajno glavni način disipacije toplote prisilna konvekcija in se konvektivni HTC zmanjšuje s povišanjem temperature, se konvektivni HTC pri stacionarnih kolutih povečuje s porastom temperature. Te vrednosti pa so zelo majhne, običajno med 3 in 5 W/(m<sup>2</sup>K) za analizirane vrste kolutov in temperaturno območje. Med štirimi analiziranimi zasnovami kolutov ima največjo vrednost koeficienta konvektivnega prenosa toplote kolut z radialnimi krilci, najmanjšo pa polni disk (približno za 30 %). Toplotna prestopnost kolutov z ukrivljenimi krilci je bil za približno 20 % manjši kot pri kolutih z radialnimi krilci, pri čemer je imel prečno preluknjan kolut pri povišanih temperaturah le minimalno prednost.

Ugotovljene so bile tudi razlike med rezultati eksperimentov in CFD za prezračevane kolute. Hitrosti vročega zraka, ki se dviga nad kolutom, so bile manjše od 1 m/s in tako prenizke za eksperimentalno potrditev. Z uporabo generatorja dima in ustrezne merilne naprave pa je bilo mogoče kvalitativno validirati tokovne vzorce za vse štiri zasnove kolutov.

Predmet raziskave je novost, članek pa podrobno obvešča bralce o vseh uporabljenih postopkih in rezultatih. Ti bodo lahko koristni za nadaljnje študije in jih bo mogoče neposredno uporabiti za napovedovanje temperature pri različnih zasnovah kolutov v pogojih stacionarnega hlajenja. V prihodnjih raziskavah bodo uveljavljene višje temperature kolutov s pomočjo indukcijskih grelnikov, kakor tudi naprednejše analize CFD.

**Ključne besede:** zavorni kolut, disipacija toplote, sevalno hlajenje, konvektivno hlajenje, računalniška dinamika fluidov, naravna konvekcija