SIMPOZION ŞTIINŢIFIC STUDENŢESC
HD-53-STUD
HUNEDOARA, 12-13 MAI 2023
ISSN: 2501-280X

OPTIMIZAREA ŞI STUDIUL PERFORMANŢEI DE RĂCIRE PENTRU SISTEMUL DE FRÂNARE

AUTOR[1]: ASIST. DRD.ING. PREDA COSMIN, AUTOR[2]: ASIST.DRD.ING. BLEOTU ROBERT-MARIAN

COORDONATOR3: CONF. DR. ING. PINCA-BRETOTEAN CAMELIA

AFILIERE AUTORI 1,2: UNIVERSITATEA „LUCIAN BLAGA" SIBIU, FACULTATEA DE INGINERIE
AFILIERE AUTORI 3: UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIŞOARA,FACULTATEA DE INGINERIE HUNEDOARA

REZUMAT

Sistemul de frânare este una dintre cele mai importante componente pentru orice vehicul deoarece permite staționarea sau oprirea acestuia prin transformarea energiei cinetice și potențiale în căldură. În timpul procesului de frânare, elementele componente sunt supuse schimbărilor rapide de temperatură. Astfel, căldura absorbită trebuie să fie eficient disipată, pentru a menține performanța ridicată a sistemului de frânare. În acest scop, răcirea discurilor de frână este un domeniu important de cercetare pentru producătorii de autovehicule. Scopul acestei lucrări a fost de a crea un design pentru o mai bună ventilație a discului de frână, prin crearea fantei de ventilație în interiorul acestuia. Pentru fiecare variantă de design creată, a fost utilizat un material semi-metalic, pentru început, urmând ca pentru varianta cea mai eficientă, din punct de vedere termic, să fie ales materialul ceramic. Pentru cazul inițial, fiecare variantă constructivă va avea discurile de frână din material semi-metalic, cu plăcuțe din fontă cenușie, iar pentru cea mai bună variantă, va fi efectuată o analiză termică în programul de simulare ANSYS, cu material ceramic, care a obținut proprietăți termice îmbunătățite.

CUVINTE CHEIE: răcire, eficiență, flux, temperatură.

1. INTRODUCERE

Sistemul de frânare este o componentă a autovehiculului care joacă un rol important în ceea ce privește siguranța și performanța acestuia. În timpul frânării o parte din energia cinetică acumulată de autovehicul se transformă în energie termică prin frecare, iar o parte se consumă pentru învingerea rezistențelor la rulare și a rezistenței aerului, care se opun mișcării. Cantitatea mare de căldură care se degajă în timpul frânării contribuie la înrăutățirea calităților de frânare ale autovehiculului și grăbește uzarea garniturilor de frecare, precum și a celorlalte componente ale sistemului de frânare [1].

Sistemele de frânare ale autovehiculele sunt echipate cu frâne prin fricțiune pe fiecare roată. Pe suprafața discurilor de frână apasă prin intermediul unei forțe mecanice plăcuțele de frână, realizate din material antifricțiune și montate într-un etrier. Din punct de vedere constructiv, discurile de frână pot fi fără canale de răcire și cu canale de răcire. Principala cerință impusă discurilor de frână este de a asigura o disipare cât mai rapidă a căldurii. Supraîncălzirea sistemului de frânare se produce atunci când căldura acumulată nu poate fi transmisă suficient de repede mediului ambiant. Ca urmare a acestui fenomen, capacitatea de frânare scade, în cazurile extreme fiind posibil ca autovehiculul să nu mai poată fi oprit.

În situația supraîncălzirii sistemului de frânare pot apărea următoarele situații [2]:

- plăcuțele de frână au în componență material de fricțiune și rășini fenolice ca liant care la temperaturi ridicate încep să se vaporizeze formând un gaz care se va dispune sub

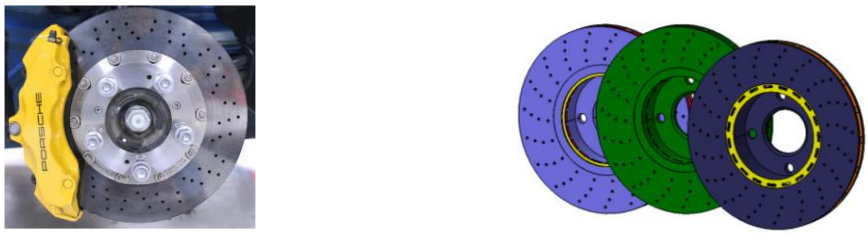
forma unei pelicule subțiri între plăcuțele de frână și disc, ducând la scăderea capacității de decelerare a autovehiculului;

- cantitatea prea mare de căldură nu poate fi disipată de discurile de frână și este transferată spre lichidul de frână care poate atinge punctul de fierbere, caz în care presarea plăcuțelor de frână pe disc nu se mai face eficient, rezultatul fiind reducerea capacității de frânare a autovehiculului.

Pentru a combate aceste neajunsuri, au fost proiectate discurile de frâna ventilate. Debitul de aer când fluxul de temperatură trece prin circuitul canalului este complex din cauza turbulențelor create. Cu o metodă analitică, este dificil să se determine efectele geometriei canalelor asupra performanței termice a discurilor ventilate [3]. În lucrarea actuală, sunt analizate trei variante constructive de discuri de frână: unul în care canalul de ventilație este bi-direcțional, al doilea cu canalul de ventilație pătruns pe suprafața din spate, și al treilea cu canalul pătruns-față.

2. DESCRIEREA PROBLEMEI

Scopul acestei lucrări este de a crea un design cât mai eficient posibil pentru discurile de frână, prin adoptarea unui canal intern, care permite evacuarea căldurii acumulate în procesul frânării. Canalul va fi poziționat pe suprafețele discului, în diferite poziții, astfel încât să fie posibilă efectuarea unei comparații între aceste variante. Analiza acestora se va face din punct de vedere termic și structural. În vederea efectuării analizei au fost create trei tipuri de discuri, fiecare cu un design diferit, astfel încât ulterior, în urma rezultatelor să se stabilească care este cea mai eficientă variantă, din punct de vedere termic și structural. În Figura 1 sunt prezentate cele trei modele create pentru analiză în comparație cu discul de frână convențional, adesea utilizat în industria auto.



a. Disc ventilat convențional b. Noile design-uri pentru discurile ventilate

Figura1: Modelele pentru discurile de frână

Ulterior, se va urmări influența scutului termic și impactul acestuia asupra întregului sistem de frânare, după încălzirea discului de frână.

3.SOLUȚII ȘI ABORDĂRI

Pentru cazul studiat în această lucrare, ansamblul sistemului de frânare este alcătuit dintr-un număr mare de componente și articulații utilizate pentru sistemul de frânare. Pentru analiza termică, a fost utilizat întregul sistem, dar ulterior pentru analiza CFD, a fost limitat doar la discul de frână și la ansamblul ecranului de frână. Modelele au fost realizate în CATIA V5 și apoi importate în software-ul de analiză ANSYS. În figura 2 se prezintă modelul geometric pentru ansamblul de frânare.

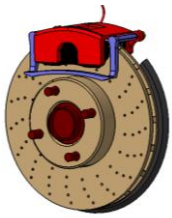
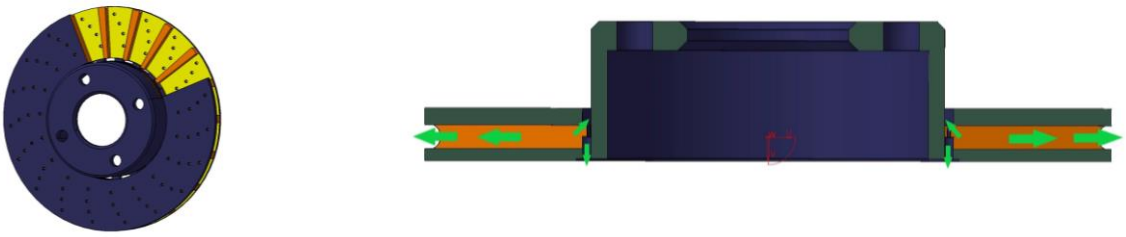


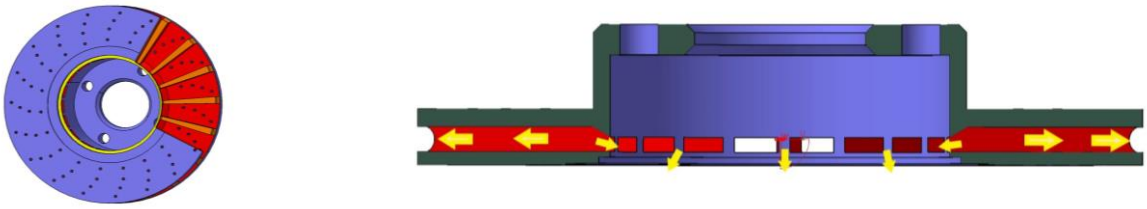
Figura 2: Modelul geometric pentru ansamblul de frânare

Comparativ cu discurile de frână convenționale, cele simple fără ventilație, aici au fost realizate trei variante constructive diferite, poziția canalului de ventilație pe suprafețe diferite, așa cum se poate vedea în Figurile 3-5 (a-b) [4] [5].



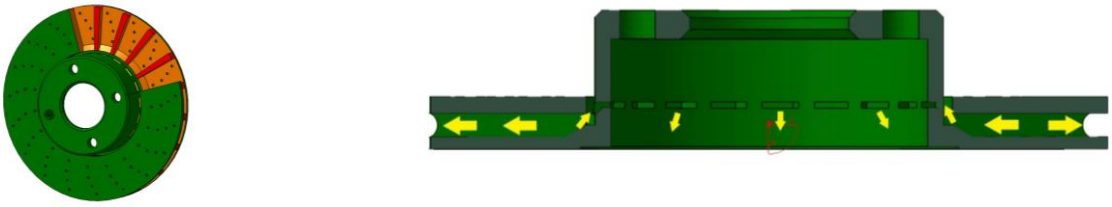
a. Vedere izometrică b. Vedere din secțiune

Figura 3: Modelul 3D pentru discul cu canal bi-direcțional-Varianta 1



a. Vedere izometrică b. Vedere din secțiune

Figura 4: Modelul 3D pentru discul cu canal pătruns-spate- Varianta 2



a. Vedere izometrică b. Vedere din secțiune

Figura 5: Modelul 3D pentru discul cu canal pătruns-față- Varianta 3

Cele mai multe vehicule rutiere actuale, dar mai ales mașinile performante, prezintă un scut termic în ansamblul de frânare, care are ca scop protejarea discului, a plăcuțelor de frână, dar și a celorlalte componente ale acestuia, a obiectelor străine, a prafului și de încălzirea excesivă a altor componente ale autovehiculului [6]. Aceste particule vor interfera cu suprafața de contact dintre discul de frâna și plăcuțele de frâna și vor reduce forța de frecare. mai mult forța de frecare a frânei. Pe de altă parte, particulele nedorite pot deteriora atât discul de frâna, cât și placuțele, ceea ce va duce la reducerea duratei de viață a acestora. Scutul de frâna este o piesa componenta a ansamblului de frânare, care este amplasat pe interiorul discului de frâna, figura 7.

Figura 6 . Scutul termic

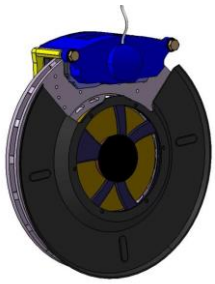


Figura 7. Poziția scutului de frânare în anasmblul de frânare

Scutul de frâna inclus în acest studiu este cea mai ușoara parte de modificat pentru a influența performanța de răcire a sistemului de frânare fără a interfera cu alte zone componente ale autovehicului.

3.1. MATERIALUL FOLOSIT PENTRU DISCURILE DE FRÂNĂ

De-a lungul timpului, în toată istoria discurilor de frână, s-au dezvoltat și testat numeroase tipuri de materiale cu scopul de a îmbunătăți performanțele discurilor de frână și a sistemului de frânare.

Materialele utilizate la realizarea discurilor de frână trebuie să prezinte o conductivitate termică și o difuzivitate ridicată, precum și o densitate scăzută. De asemenea, materialele destinate fabricării discurilor de frână trebuie să ofere un coeficient bun de frecare, caracteristici mecanice stabile la temperature ridicate în mediu umed, precum și rezistență ridicată la uzură.

Pentru studiul actual al lucrării de cercetare, s-a folosit doar un singur tip de material, și anume materialul semi-metalic, urmând ca în următoarele studii să se folosească la analiză și alte tipuri de materiale, precum fonta sau materialul ceramic, pentru o comparație mai bună și rezultate mai clare.

În Tabelul 1 se prezintă proprietățile fizico-mecanice ale materialului studiat în această lucrare de cercetare, și anume materialul semi-metalic.

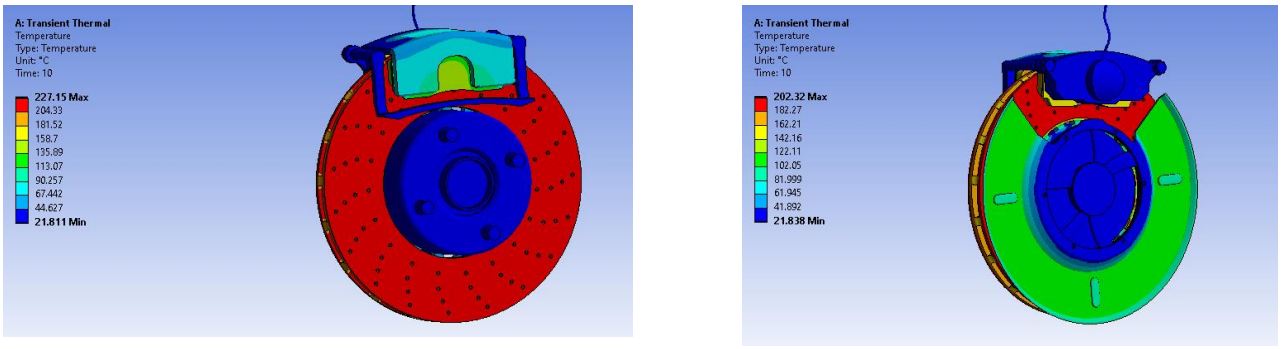
Tabelul 1. Proprităților materialului semi-metalic folosit la discurile de frână

Proprietate	Unitate	Valoare
Densitate	kg/m^3	7850
Coeficient izotropic	$C^{-1}(1/C)$	0.000001.2
Modul lui Young	Pa	20,000,000,000
Coeficientul lui Poisson	-	0,3
Modul de forfecare	Pa	7.69230000
Rezistența la tracțiunii	Pa	2.500000
Rezistență la compresiune	Pa	2.500000
Rezistență la încovoiere	Pa	4.600000
Căldura specifică	$J/(kg \cdot K)$	434

4.REZULTATE

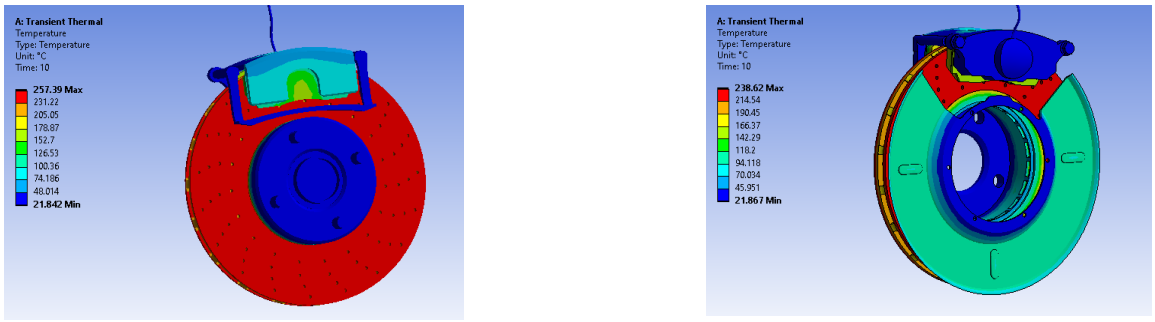
În cadrul acestui subcapitol se va realiza analiza termică pentru trei variante de discuri de frână din componența unui sistem hidraulic de frânare, iar analiza se va realiza cu ajutorul

programului de calcul ANSYS. Discurile de frână sunt cele modelate și prezentate în capitolul precedent, considerând varianta de disc ventilat-perforat.



a. Temperatura pentru sistemul disc-fără scut b. Temperatura pentru sistemul disc-cu scut

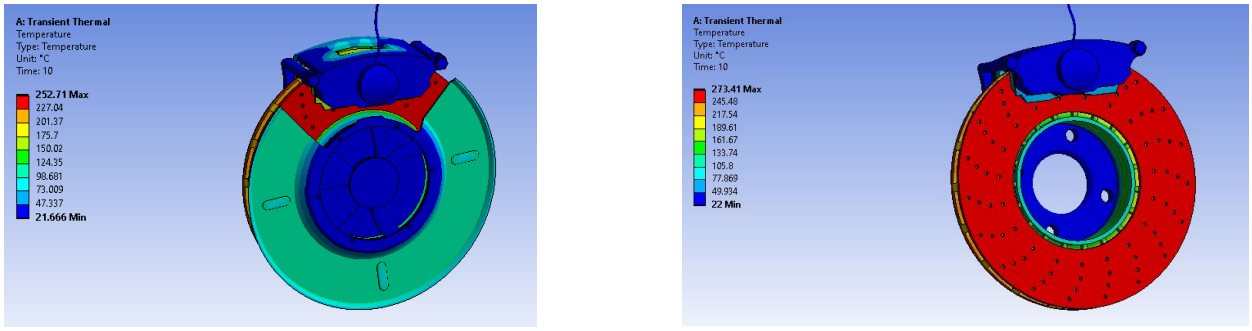
Figura 8: Rezultatele temperaturii pentru ansamblul de frânare canal bi-direcțional



a. Temperatura pentru sistemul disc- fără scut b. Temperatura pentru sistemul disc- cu scut

Figura 9: Rezultatele temperaturii pentru ansamblul de frânare canal pătruns spate

După cum se poate vedea din Figurile 8-10 de mai sus, rezultatele corelației celor trei modele diferă una de alta. Proiectarea scutului de frână are valori mai mari pentru valoarea de temperatură, de la o temperatură maximă de 202,32 °C pentru discul de aerisire bi-direcțională cu scutul termic, până la 227,15 °C fără scutul de frână.

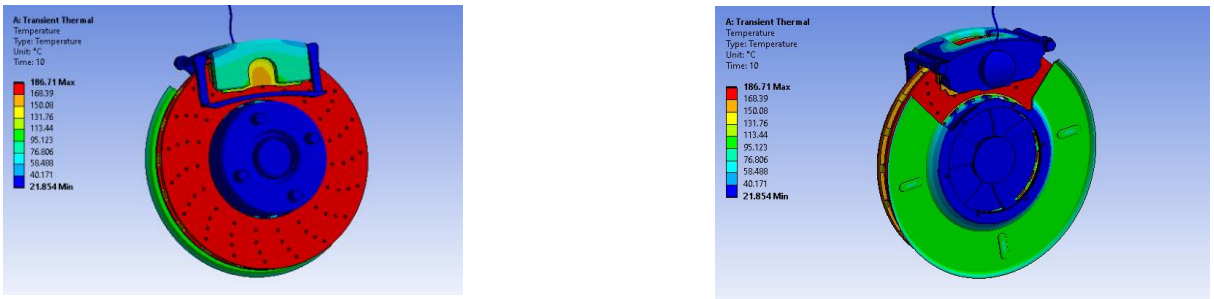


a. Temperatura pentru sistemul disc-cu scut b. Temperatura pentru sistemul disc-fără scut

Figura 10: Rezultatele temperaturii pentru ansamblul de frânare canal pătruns-față

Privind la al doilea design al canalului, cel cu aerisirea pe canalul pătruns-spate, se poate observa o creștere a valorilor temperaturii pentru acest caz. Temperatura maximă obținută pentru analiza cu scutul termic este de 257,39 °C, comparativ cu cea fără scut. care este de aproximativ 238,62 °C vizibil în Figura 10, iar pentru cea-a de a treia variantă constructivă din

Figura 10, cu canalul pătruns-față, temperatura mai scăzută este pentru varianta cu scut termic, și anume de 252,71°C.



a. Temperatura pentru sistemul disc-cu scut b. Temperatura pentru sistemul disc-cu scut

Figura 11: Rezultatele temperaturii pentru ansamblul de frânare canal bi-direcțional material ceramic

Geometria canalului de debit proiectat de aerisire are o influență termică mai bună, valorile fiind relativ mari între cele două variante [7]. Rezultatele analizei termice pentru întregul sistem de frânare sunt prezentate mai jos, în tabelul 1.

Tabelul 2. Temperaturile obținute în urma analizelor termice cu scut termic

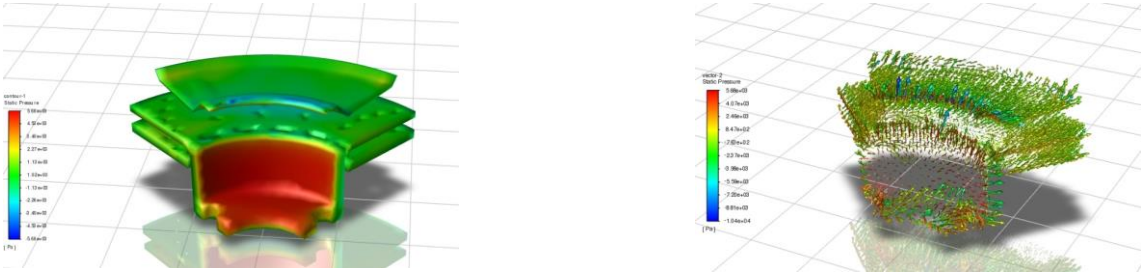
	Variantele de discuri folosite - cu scut termic		
	Varianta A2	Varianta A3	Varianta A4
Frânarea 1	61.72°C	66.08°C	73.42°C
Frânarea 3	101.02°C	104.6°C	107.08°C
Frânarea 5	158.91°C	160.91°C	172.77°C
Frânarea 7	200.67°C	202.33°C	208.32°C
Frânarea 10	202.32°C	238.62°C	252.71°C

În Tabelul 2 se prezintă valorile temperaturii pentru analiza termică când nu a fost luat în considerarea scutul termic al ansamblului, iar în Tabelul 1 valorile pentru situația cand a fost luat în considerare scutul termic. Sunt prezentate rezultatele centralizate din punct de vedere al analizei termice pentru cele trei variante de modelare.

Tabelul 3. Temperaturile obținute în urma analizelor termice fără scut termic

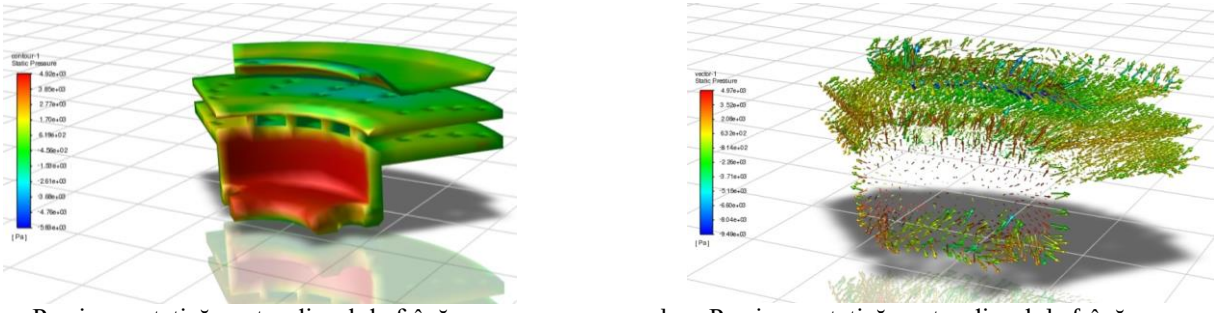
	Variantele de discuri folosite - fără scut termic		
	Varianta A2	Varianta A3	Varianta A4
Frânarea 1	64.43°C	75.19°C	80.07°C
Frânarea 3	101.44°C	116.7°C	119.02°C
Frânarea 5	127.3°C	142.31°C	245.65°C
Frânarea 7	174.04°C	202.11°C	211.9°C
Frânarea 10	227.15°C	257.39°C	271.33°C

Rezultatele analizei CFD Fluent arată câțiva parametri dinamici fluizi importanți, incluzând presiunile statice, indicatorii de viteză maximă și minimă a vitezei care pot afecta eficiența sistemului de frânare. Abordarea computațională a fost validată.



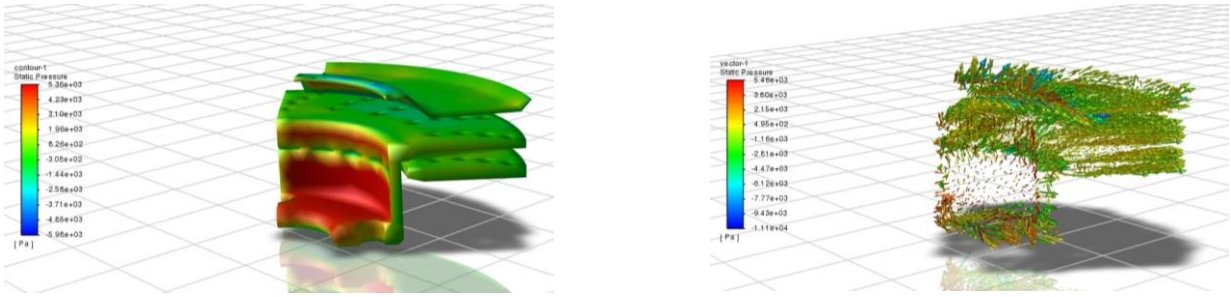
a. Presiunea statică pentru discul de frână b. Presiunea statică pentru discul de frână

Figura 12: Presiunea statică rezultată pentru discul cu canal bi-direcțional



a. Presiunea statică pentru discul de frână b. Presiunea statică pentru discul de frână

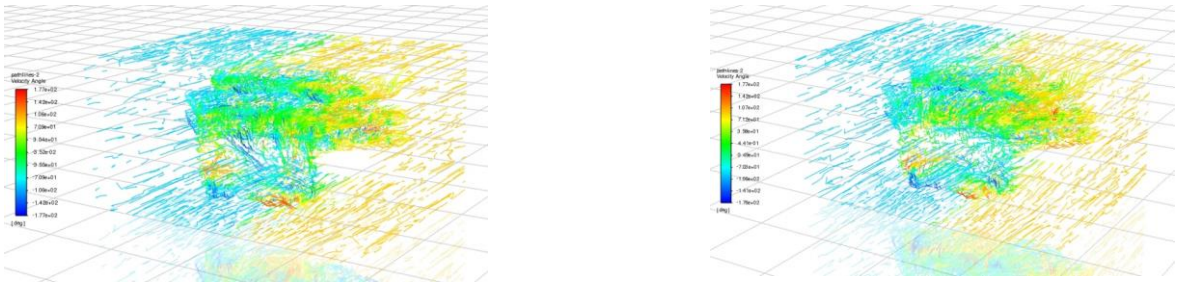
Figura 13: Presiunea statică rezultată pentru discul cu canal pătruns-spate



a. Presiunea statică pentru discul de frână b. Presiunea statică pentru discul de frână

Figura 14: Presiunea totală rezultată pentru discul cu canal de ventilație pătruns-față

Primul lucru care trebuie concluzionat despre analiza CFD Fluent este diferența dintre valorile pentru fiecare variantă de disc. Valoarea analizei arată că varianta discului cu aerisire bi-direcțională este mai eficientă în ceea ce privește fluxul de aer pe suprafața ansamblului disc-ecran.



a. Viteza de curgere pentru discul cu canal bi-direcțional b. Viteza de curgere pentru discul cu canal pătruns-spate

Figura 15: Rezultatele vitezei de curgere pentru modelele studiate

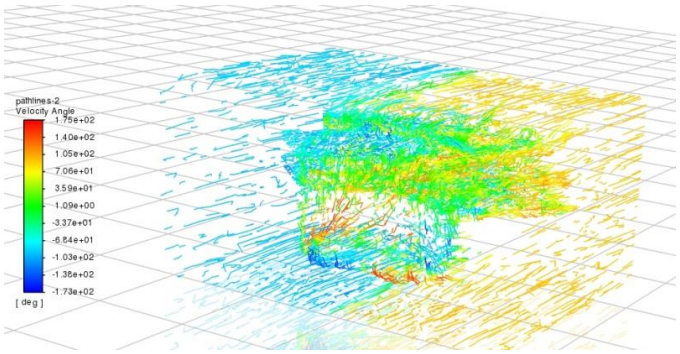


Figura 16: Viteza de curgere a aerului pentru discul cu canal de ventilație pătruns-față

Comparând distribuția vitezei rezultată din rezultatele numerice, se poate concluziona că rezultatele sunt într-un acord bun. Analiza CFD Fluent surprinde tot circuitul de flux complex din jurul discului și a mediului din apropiere [8-10]. Distribuția fluxului de aer între ansamblul ecranului de disc și mediul înconjurător are valori scăzute pentru varianta discului de ventilație bi-direcțională, așa cum se poate vedea în Figura 15a. iar distribuția vitezei totale pentru canalul de ventilație pătruns-față în Figura 16. Viteza pentru proiectarea aerisirii pătrunse-spate scade drastic din cauza distribuției paletelor și a proiectului adoptat.

5. CONCLUZII

Din rezultatele analizei CFD, această simulare s-a dovedit a fi un instrument util în procesul de proiectare, a furnizat parametri importanți, precum viteza, presiunea și volumul din interiorul discului și pentru mediul din jurul subiectului analizat.

În urma rezultatelor, se poate observa că forma canalului are o mare influență asupra schimbului de căldură cu mediul înconjurător și a circuitului de curgere din jurul sistemului de frânare.

Cele mai importante concluzii în urma analizei efectuate sunt următoarele:

• Răcirea discului de frână a fost îmbunătățită atunci când scutul de frână a fost aplicat sistemului de frânare;

• Aerisirea cu canalul bi-direcțională asigură o mai bună disipare a căldurii de pe suprafața discului;

• Analiza termică efectuată a arătat că sistemul de frânare alcătuit din varianta de disc cu aerisirea bi-direcțională a obținut cele mai mici valori termice;

• Simulările CFD oferă rezultate viabile, mai ales atunci când se compară diferitele opțiuni de proiectare a frânei;

- Rezultatele obținute din modelare sunt în concordanța cu cele descoperite în mod obișnuit în investigațiile din literatura de specialitate;

6. BIBLIOGRAFIE

[1] Nadica S, Oday A I, Josef S, Ivan G, Jasna G 2019 Study the structural problem in the brake system applying a different pressure function, 16th International Conference on Tribology.

[2] Yogesh S D 2017 Effect of Design Parameters on Thermal Performance of a Vane, Western Michigan University- Master's Theses.

[3] Roshan B R, Pranesh M K, Velmurugan S 2021 Design Enhancement and Thermal Analysis of Disc Brake IOP Conf Series: Mat. Sci. and Eng. 1059 012045

[4] Parish, D., & MacManus, D. G. (2005). Aerodynamic investigations of ventilated brake disks. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 471-486.

[5] Pinca-Bretotean, C., Cosmin, P., & Ana, J. (2020). Numerical and experimental analysis of dry contact in pad disc brake assembly. *Journal of Physics Conference Series 1426:012002*.

[6] Zhongzhe, C., Greg, N., & Yuping , H. (2009). Convective Heat Transfer Optimization of Automotive Brake Discs. *SAE International*, 961-969

[7] Hiyam A H, Ahmed E M, Mohd A A. Mohamad H A A, Reduan M D, Mohd H H 2020 Performance analysis of brake discs in trains Jurnal Tribologi 25 1-15

[8] Ali, B., & Asif, A. (2021). Computational finite element analysis of brake disc rotors employing different materials. *Australian Journal of Mechanical Engineering 1(1)*, 1-14.

[9] Hayder , K. H., Mohammed , K. K., & Ali , S. B. (2018). Modeling and analysis of disc brake in automobiles. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments 41(2)*, 56-58.

[10] Kumar, R. G., Thriveni, S., Rajasekhar, R. M., & Harinath, G. G. (2014). Design Analysis & Optimization of an Automotive Disc Brake. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, 24-29.

ISSN: 2501-280X