

# EGY EGYSZERŰSÍTETT FÉKMODELL TERMIKUS ELEMZÉSE

## THERMAL ANALYSIS OF A SIMPLIFIED BRAKE MODEL

*Dr. Bolló Betti \*, Dr. Sarka Ferenc \*\*, Dr. Voith Katalin \*\*\**

### ABSTRACT

*Braking system is one of the important safety components of a railway vehicle. Brake components slow the train by using friction between the train wheels and the brake block. The efficiency of the braking system is strongly dependent on the quality of the material of the components, especially the brake blocks. In the present paper, we have carried out optical microscope investigations of a brake block. On the other hand, numerical simulation was used to analyse the frictional heat distribution in the brake block using the Ansys software package. In the initial phase of the research, it was found that the software is suitable for calculating the frictional heat and for modelling heat transfer and heat conduction.*

### 1. BEVEZETÉS

A fékberendezések minden jármű esetében kiemelt fontosságú részek. A vasúti teherközlekedésben működőképességük, hatásosságuk talán még fokozottabb jelentőséggel bír, mint a közúti forgalomban. A vasúti közlekedés hatalmas tömegek együttes mozgásával jár, melyek mozgási energiájuk révén egy balesetkor igen nagy károkat tudnak okozni mind emberéletben, mind anyagi vonatkozásban. A cikkben bemutatott vizsgálatokat a vasúti fékek ezen jelentősége miatt egy belgiumi partnerrel közösen (Falex Tribology NV) indítottuk el, egy az Európai Unió által finanszírozott pályázat keretében. A pályázat egyik fontos feladata, hogy egy olyan egyszerűsített numerikus szimulációs modellt készítsen, amellyel a fékberendezésben keletkező hővezetés és kopás vizsgálható. A szimuláció megkezdéséhez szükségünk volt kiindulási adatokra, melyeket kísérletekkel hoztunk létre. Jelenleg a vasút két anyagtípust használ a féktuskók esetén, az egyik az öntöttvas, a másik pedig egy kompozit anyagtípus (Németország területén csak az úgynevezett csendes féktuskóval szerelt vagonok közlekedhetnek). [1, 2]

Egy vasúti jármű fékezésének és megállításának fő problémája, hogy a féktárcsába nagyon rövid idő alatt rendkívüli magas hőáram keletkezik, amely magas hőmérsékletre vezet. A súrlódási felületen megjelenő túlmelegedés a súrlódási együttható romlását okozhatja.

A féktárcsának igen magas hőterhelése a nagy hőgradiensekből származik, ennek következményeként pedig repedések keletkeznek. [3, 4] Emiatt a gépjárművek féktárcsáit gyakran résekkel vagy lyukakkal tervezik, hogy turbulenciát hozzanak létre, és így javítsák a konvektív hűtadást, és hamarabb lehűtsék a fék felületét, illetve elvezessék a hőt. [5-7]

A projektünk egyik fő célja, hogy a vasúti féktuskóból készült próbatesteken végzett fizikai paraméterek méréseit reprodukáljuk numerikus modellezéssel. A következő lépés pedig, hogy a jobb hőelvezetés miatt makrogeometriai módosításokat (réseket, furatokat stb.) tervezzünk a vasúti féktuskókba, vagy féktárcsába. A fék körül kialakuló légáramlás modellezéséhez mindenképpen áramlási szoftvert kell alkalmazni, viszont a két súrlódó felület által keltet hő kiszámítása már mechanikai probléma.

A kereskedelmi forgalomban lévő Ansys szoftvercsomag alkalmas az áramlási és a mechanikai számításokra is, ezért két irányban indultunk el: az egyik az Ansys szoftver Mechanikai modulja, ahol a súrlódásból keletkező hőt tudjuk kiszámolni, míg a másik megoldás az Ansys Fluent program alkalmazása, amely a testkörüli áramlást, valamint a test és a környezeti levegő közötti hűtadást is képes modellezni.

Jelen cikkben megvizsgáltunk egy vasúti kocsi fékjéből kiserelt féktuskót, hogy a súrlódó felületeken milyen elváltozások jelennek meg, ezekből következtetéseket vontunk le a károsodás okát illetően. A vasúti féktuskókból próbatesteket készítettünk, melyeket egy kísérleti berendezésben koptattunk, és mértük a kialakuló hőmérsékleteket. A kísérletek alapján létrehoztunk egy numerikus szimulációs modellt, amellyel a kísérleteket közelítettük.

### 2. A FÉKTUSKÓ SURLÓDÓ FELÜLETÉNEK VIZSGÁLATA

A féktuskók fékezés közben közvetlenül a vasúti tehervagonok kerekének futófelületéhez nyomódnak. Az itt létrejövő súrlódó erő hozza létre a fékező nyomatókat. A féktuskók és a vasúti teherkocsik kerekai egyaránt öntöttvasból készülnek. A Rail Cargo Hungária több koptott, használt féktuskót bocsátott rendelkezésünkre.

\* egyetemi docens, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

\*\* egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

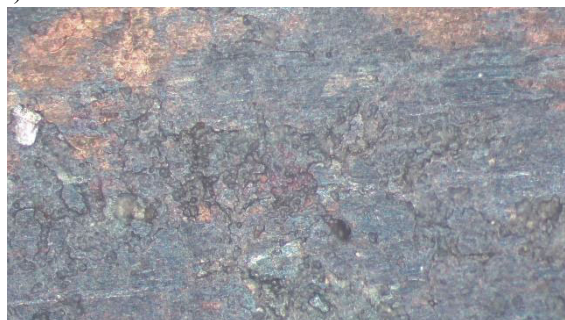
\*\*\*tudományos főmunkatárs, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

A kapott féktuskón optikai mikroszkóppal vizsgálatokat végeztünk, és megállapítottuk, hogy a súrlódó felületeknek (féktuskó, vagon kerék) igen magas a hőterhelése, amely a nagy hőgradiensből származik (elszíneződés). Az 1. ábra látható két fotó, amely a féktuskó súrlódó felületének szélső (nem elszíneződött) és középső részét mutatja 100x nagyításban (Zeiss Discovery V14).

a)



b)



1. ábra Mikroszkópos felvétel a féktuskó súrlódó felületéről: a) szélső rész, b) középső rész.

A középső részről készült felvételen a felület megolvadására utaló jelek láthatók, míg a szélső részről készült felvételen a barázdált felületrészek vannak túlnyomó többségben, ahol a barázdák a mozgás irányával párhuzamosan haladnak. A felvételek is azt erősítik meg, hogy a súrlódó felületek belső részei nagymértékben felmelegednek. Ennek egyik oka a rossz hőelvezetés. A melegedés okozta károsodás természetesen nem csak a féktuskókat érinti, hanem a vagonok kerekeit is, amelyek javítása igen költséges és időigényes. A leírt folyamatok elkerülésével a féktuskók és a vagonok kerekei hosszabb élettartamúak lehetnek.

Napjaink gazdasági trendje, hogy a lineáris gazdasági formát, a körkörös gazdasági (Circular Economy) formába vezessük át. A 10R alapelv egyik építőeleme a szerkezetek, alkatrészek élettartamának növelése. Ebbe a trendbe illeszkedve kezdtük meg a munkát a féktuskók vizsgálatával, és a numerikus szimulációhoz szükséges paraméterek meghatározásával.

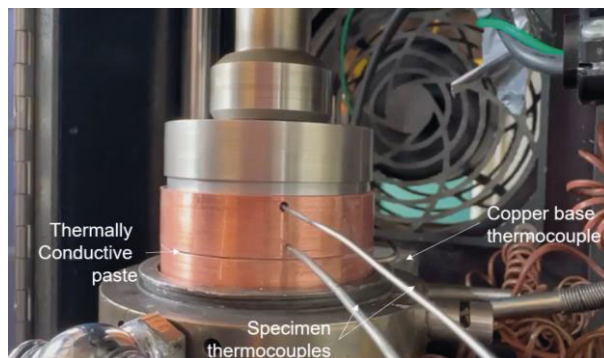
### 3. A KOPÁSI ÉS HŐVEZETÉSI KÍSÉRLETEK

A támogató cégektől kapott féktuskókból próbatesteket készítettünk a Falex Tribology-nál használt tribométer számára. A hengeres próbatestet és a forgórészt a 2. ábra mutatja, ahol a próbatest átmérője 54 mm és magassága 15 mm. A forgórészt minden esetben acélból készítették, míg a próbatest anyagát változtatták: acél, réz, alumínium.

A 3. ábra a próbatest tesztelésére alkalmazott berendezés látható. A forgórészt állandó sebességgel forgatják, valamint állandó, 45N erővel terhelik. A forgórészen egy 4,5 mm szélességű körgyűrű található, amely az állórészsel érintkezik és a forgatás miatt súrlódás lép fel az érintkező felületen, melynek hatására a hőmérséklet el kezd növekedni a próbatestben. A hőmérsékletet a próbatest tetején ( $T_{Top}$ ) és alján ( $T_{Bottom}$ ), valamint a próbatestet befogó réz alkatrész alján ( $T_{base}$ ) hőelemmel mérik. A kísérletek során rögzítik a súrlódási tényező és a forgási sebesség értékeit.

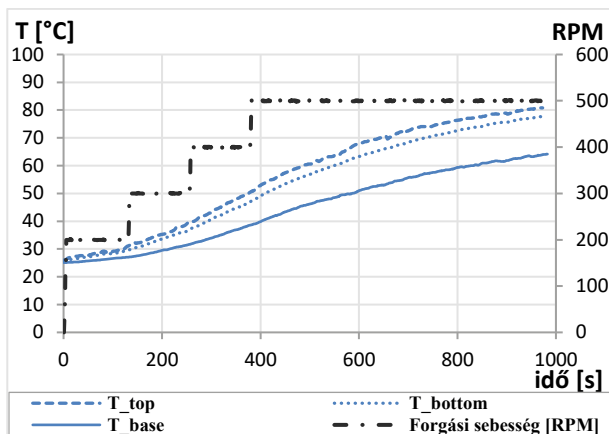


2. ábra Próbatest kialakítása.



3. ábra A tesztberendezés kialakítása réz tesztmintával [Falex Tribology NV - Belgium].

A kísérletek során 200 percenkénti fordulatszámról indították a méréseket és ~140s-onként növelték a fordulatszámot 100 1/min értékkel, míg el nem érték az 1000 s-ot. A 4. ábra egy acél próbatesten mért hőmérséklet értéket mutatja az idő függvényében. A diagrammon a forgási sebesség értékeit a jobb oldaton jelöltük.



4. ábra Egy tesztmérés eredménye.

A teszteredmények ismeretében az a célunk, hogy numerikus szimulációt hozzunk létre, amelyben a tesztfeltételeket modellezhetjük, különösen a különféle anyagok hővezetési viselkedésére.

#### 4. SZÁMÍTÁSI EREDMÉNYEK

A numerikus szimulációt két részre bontottuk. Először az Ansys Mechanikai programján belül az ún. Couple Field Transient Modult alkalmaztuk, amely támogatja a közös szerkezeti és termikus környezeti opciókat, azaz lehetővé teszi, hogy a súrlódásból keletkező hőt és a próbatestben a hővezetést együtt modellezzük. Amint korábban írtuk az állórész és a forgórész egy körgyűrű felülete mentén érintkeznek, ahol a súrlódási hőt kapjuk meg. A következő lépésként az Ansys szoftvercsomag Fluent áramlás- és hőtechnikai modulját alkalmaztuk, amely a véges térfogatok módszerére épül, és képes kiszámolni a hőátadási tényezőt a szilárd anyag és a levegő között, valamint a szilárd testben a hővezetést. Az áramlási szoftverben megadjuk a próbatest felületén kialakított körgyűrűnek a mechanikai részben kapott hőt és így elemezzük a hőátadást a falon, valamint a hő terjedését a próbatestben.

##### 4.1. Mechanikai szimuláció

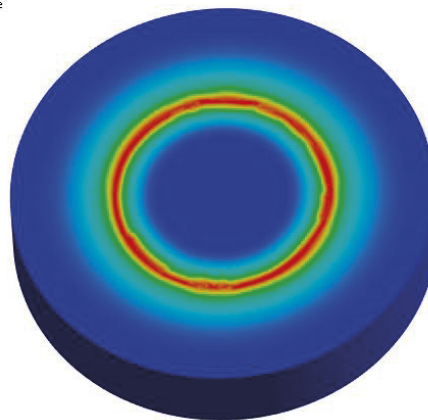
A numerikus számításhoz elkészítettünk egy egyszerűsített geometriát, amely egy álló részből (próbatest) és a tetején elhelyezett forgó részből állt. Az érintkezési felület 13 mm szélességű körgyűrűből áll. A forgórészt adott 45N erővel nyomjuk az állórészhez, miközben 600RPM fordulatszámon forgatjuk. A külső környezeti levegő 22°C hőmérsékletnek adtuk meg. A program teszteléséhez először 1s-ot vizsgáltunk, így a súrlódás következtében létrejövő maximális hőmérséklet 28,4°C lett. Az 5. ábra a hőmérséklet-eloszlást mutatja a próbatest felületén, míg a 6. ábra a forgórész felületének hőmérséklet mezője látható.

A szoftver tesztelése során a numerikus háló elemszámát is vizsgáltuk, és azt találtuk, hogy 2mm-es

elemméret megfelelő a hőmérséklet-eloszlás kiszámításához. A geometrián hexagonális elemekből készítettük el a hálót és 12478 db cellából állt.

C: Coupled Field Transient  
Temperature  
Type: Temperature  
Unit: °C  
Time: 1 s  
2024. 03. 04. 14:20

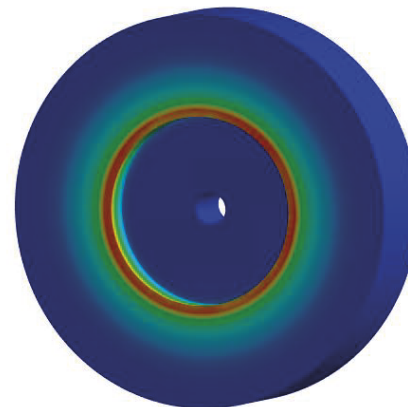
28,398 Max  
27,687  
26,976  
26,265  
25,555  
24,844  
24,133  
23,422  
22,711  
22 Min



5. ábra Hőmérséklet-eloszlás a próbatest felületén.

C: Coupled Field Transient  
Temperature  
Type: Temperature  
Unit: °C  
Time: 1 s  
2024. 03. 04. 14:19

28,398 Max  
27,687  
26,976  
26,265  
25,555  
24,844  
24,133  
23,422  
22,711  
22 Min



6. ábra A forgórész felületén a hőmérsékletmező.

A kezdeti tesztek azt mutatták, hogy a szoftver alkalmas lesz a forgó mozgás modellezéséhez, illetve a súrlódásból keletkező hőt is tudja számolni. Ezért a numerikus számítást az egyszerűsített geometrián 100 s-ig akartuk futtatni, de a rendelkezésünkre álló számítógép 3 hét alatt sem tudta kiszámolni ezt az időtartományt. A futtatásokhoz nagyobb kapacitású gép szükséges, aminek beszerzése megtörtént, de a számítások még futnak. A mechanikai szimulációkkal párhuzamosan elkezdjük az áramlási folyamatok modellezését is.

##### 4.2. Áramlási szimuláció

Létrehoztunk egy egyszerűsített geometriát, amely a 54 mm átmérőjű és 15 mm magasságú próbatestből és a szintén 54 mm átmérőjű, 9,6 mm magasságú befogó részből áll, valamint ezek köré egy 40 mm sugarú és 30 mm magasságú külső levegőteret helyeztünk el. A próbatesten létrehoztunk egy körgyűrűt, ami a forgó résszel érintkezik, és ide írtuk elő a súrlódásból kapott

hőmérsékletértéket. Mivel a mechanikai szimulációból még nem kaptunk megfelelő értékeket, ezért a környező felületére konstans hőmérséklet értéket adtunk meg, amit a mérési eredményből vettünk.

A geometriát három tartományra bontottuk, a külső környezet és a próbatest hexagonális elemekből állnak, míg a próbatest befogó része tetragonális elemekből. A számítási háló ennek megfelelően több, mint 633 ezer cellából épül fel.

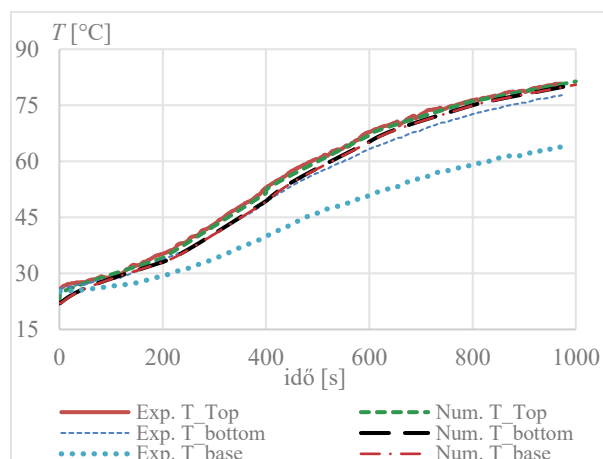
A külső tér alá sebesség bemenetet, illetve a többi felületre nyomás kimenetet írtunk elő peremfeltételként. A külső tér hőmérsékletére 22°C-ot adtunk meg és a bemeneten 0 m/s sebességet. (Természetesen a későbbiekben a bemeneten különböző áramlási sebességeket lehet előírni, azaz különböző hűtések esetén vizsgálhatjuk meg a próbatestben létrejövő hőt.)

A mozgás- és energiaegyenletek időfüggő számításához másodrendű eljárást alkalmaztunk. A próbatestben a tetején és az alján lévő hőmérsékletértékek igen közeli értékeket mutattak, eltérően a mérési eredményektől, ezért továbbfejlesztettük a modellünket.

A mérés során a súrlódó felületen folyamatosan növekszik a hőmérséklet, ezért a mérésre egy lineáris görbét illesztettünk és ezt adtuk meg a próbatest tetején lévő környező alakú felületére. Az első futtatások sikeresnek bizonyultak. A numerikus számításból kapott hőmérséklet értékek (*Num. T*) jól közelítették a próbatest alján és tetején lévő mérési pontokban kapott értékeket (*Exp. T*) egészen 500s-ig (7. ábra). Utána az alsó pontban lévő hőmérsékletértékek magasabbak, mint a mérési érték. Ennek oka az lehet, hogy a kísérletben a próbatestet rögzítő befogó rész egy állványra van helyezve, amely elvezeti a hőt, így alacsonyabb hőmérséklet-eloszlás alakul ki. Ennek kiküszöbölésére további vizsgálatok szükségesek. Egyik lehetőség, hogy az állvány egy részét is modellezzük, vagy a befogórész alá hőelvonást adunk meg. Esetleg a kísérleteket újra elvégezni úgy, hogy az állvány és a befogórész közé szigetelőréteget helyezünk.

## 5. KÖVETKEZTETÉS

A vasúti fékblokkok tönkremenetelének egyik fő oka a túlmelegedés, ezért nagyon fontos megvizsgálni a fékblokkokban terjedő hőt. A fékblokkok hővezetését az Ansys szoftver segítségével vizsgáltuk meg. A szimulációs módszereket illetően számos lehetőséget elemeztünk és találtunk olyan feltételeket, amelyek jó közelítést mutatnak a kísérlet és a szimuláció között. A kutatásunk kezdeti szakaszában jó eredményeket értünk el, a számítógépkapacitás növelésével tovább folytatjuk a vizsgálatokat és más anyagok és minták additív gyártási technológiájával elkészített mintáknál is elemezni fogjuk a hőeloszlást.



7. ábra Mért (*Exp.*) és számított (*Num.*) értékek összehasonlítása

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A 2019-2.1.7-ERA-NET-2022-00042 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, az ERA-NET Cofund és EJP Cofund programok közös nemzetközi pályázati felhívásaiban sikeresen szereplő magyar szervezetek támogatására pályázati program finanszírozásában valósul meg.



## 6. IRODALOM

- [1] FICZERE, P.: Analysis of the Causes and Effects of Noise from Rail Transport. *International Journal of Engineering and Management Sciences*, (2024), <https://doi.org/10.21791/IJEMS.2024.009>.
- [2] MUFLIKHUN, M.A., ADYUDYA, M., RAHMAN, N.F. et al.: Comprehensive analysis and economic study of railway brake failure from metal-based and composites-based materials. *Forces in Mech.*, 12 (2023), Article 100223
- [3] WANG, Z., HAN, J., DOMBLESKY, J.P., LI, Z., FAN, X. LIU, X.: Crack propagation and microstructural transformation on the friction surface of a high-speed railway brake disc, *Wear*, 428 (69) (2019), pp. 1-16.
- [4] STRAFFELINI, G.: *Friction and Wear*, Springer, 2015, ISBN978-3-319-05894-8.
- [5] ZUO, S., ZHANG, Y. y KONG, Q., Analysis of Transient Temperature Field of Automobile Ventilated Disc Brake. *Int. J. of New Developments in Engineering and Society*, Vol. 1, No. 1 (2017), pp. 85-88.
- [6] NAKATSUJI, T., OKUBO, K., FUJII, T., SASADA, M., NOGUCHI, Y., Study on Crack Initiation at Small Holes of One-piece Brake Discs (No. 2002-01-0926), *SAE Technical Paper* (2002).
- [7] BARON SAIZ C., INGRASSIA, T., NIGRELLI, V., RICOTTA, V.: Thermal stress analysis of different full and ventilated disc brakes. *Frattura ed Integrità Strutturale*, Vol. 9, No. 34 (2015), pp. 608–621.