

## NAGY TELJESÍTMÉNYŰ GÉPJÁRMŰ OLAJOS TÁRCSAFÉKÉNEK TERMIKUS VIZSGÁLATA ÉS OPTIMALIZÁLÁSA

### THERMODYNAMICAL EXAMINATION AND OPTIMALIZATION OF THE OILY DISC BRAKE OF A HEAVY DUTY MOTOR VEHICLE

MENYHÁRTNÉ BARACSKAI Melinda, TAKÁCS Krisztián  
(ORCID: 0000-0003-2813-349X) (ORCID: 0000-0001-6617-1038)  
[baramel@sze.hu](mailto:baramel@sze.hu); [krisztian.takacs@edag.hu](mailto:krisztian.takacs@edag.hu)

#### Absztrakt

A cikk egy nagy teljesítményű gépjármű fékrendszerének termikus problémáit vizsgálja. A fék működése akkor tekinthető megbízhatónak, ha a berendezés túlmelegedése nem áll fenn.

A jármű féktárcsáin a fékezés következtében a súrlódás hatására jelentős hőmennyiség szabadul fel. A fékberendezés legjobban felmelegedő gépelemének, az elválasztó tárcsának hőmérséklete 234 C°.

A cikk röviden bemutatja a konstrukciót, a mérőberendezést, majd a Nastran végeselemes szoftver segítségével elkészíti a berendezés hőtani modelljét. A modellezés során kapott eredményeket összehasonlítja a mérési eredményekkel és optimalizálja a berendezést. Az optimalizálás célja, hogy az elválasztó tárcsa, és a fék betét hőmérsékletét csökkentse.

**Kulcsszavak:** tárcsafék, hűtőolaj, hővezetés, Nastran, optimalizálás

#### Abstract

This article examines the thermal problems of the braking system of a heavy duty motor vehicle. The braking system is considered to be reliable, if there is no overheating in the equipment.

Due to the friction caused by braking, significant amount of heat is released in the brake discs of the vehicle. The temperature of the separator disc – the most warming machine part in the braking system – is 234 C°.

The article briefly describes the construction and the measuring equipment, then using Nastran finite element software it prepares the thermal model of the device. It compares the results of the modelling with the results of the measurements and optimizes the equipment. The aim of the optimization is to reduce the temperature of the brake disc and the brake pad.

**Keywords:** disc brake, cooling oil, conduction, Nastran, optimization

A kézirat benyújtásának dátuma (Date of the submission): 2017.04.04.  
A kézirat elfogadásának dátuma (Date of the acceptance): 2017.06.08.

## BEVEZETÉS

Napjainkban az ipari fejlődés ugrásszerű. Egyre több és modernebb, nagy gyorsulásra is képes, különféle érzékelőkkel és radarokkal ellátott jármű halad az utakon. A rendelkezésre álló közutak sok esetben túlterheltek, már nem csak a városközpontokban, hanem a városokat körül ölelő peremkerületi övezetekben is létrejöhetnek torlódások. A jármű üzemeltetése során a gépjárművezető az elindulást követően járművével valamely sebességre gyorsít, egy adott sebességgel halad, lassító fékezéssel csökkenti sebességét, vagy szükség szerint megállásig fékez. Az egyenletes sebességgel való haladás a megnövekedett forgalomból adódó közúti körülmények miatt egyre rövidebb úton valósítható meg, mely sok esetben közúti balesethez vezet. Korábbi írásaiban Kuti R. [1, 2] már foglalkozott a közlekedési balesetek elhárításának kérdéseivel, vizsgálta a bekövetkezések ok-okozati összefüggéseit, azonban a technikai meghibásodások, különösen a járművek fékrendszereinek problémái nem kerültek teljeskörű kifejtésre.

A hatékony fékezés elengedhetetlen a balesetek megelőzésének szempontjából, a fékrendszer működése akkor tekinthető megbízhatónak, ha a jármű megfelelő időegység alatt történő megállítása, lassítása során a berendezés túlmelegedése nem áll fenn, és rendellenes kopás nem figyelhető meg. Különösen fontos ez nagytömegű túlméretes járművek esetében, melyeket a Magyar Honvédség is használ.

Az írásunkban vizsgált nagyteljesítményű, túlméretes gépjármű tömege 30.000 kg, ennek megfelelően haladási sebessége a közúti járművekhez képest kisebb, 40 km/h sebességgel való haladásra képes. A jármű hatékony fékezése, megállíthatósága, mint az a katonai gépjárműveknél is, alapvető követelmény. Az egymást követő lassító fékezések, vészfékezések, teljes megállítások egymásutánisága esetén is biztosítani kell a fékberendezés megfelelő működését.

A jármű féktárcsáin a fékezés következtében, a súrlódás hatására jelentős hőmennyiség szabadul fel. Amennyiben nem történik meg a berendezés megfelelő hőmérsékletre való a visszahűtése, az a szerkezet gyors kifáradásához, tönkremeneteléhez vezet. A tanulmány célja mérési eredményekre támaszkodva vizsgálni a fékezés hatására kialakuló tárcsahőmérséklet alakulását.

A féktárcsák túlzott felmelegedése a vele közvetlenül érintkező hűtőolaj degradációjához vezethet. Ezért szükséges olyan a mérési eredményeken alapuló végeselemes optimalizáció elkészítése, mely a berendezés elválasztótárcsájának módosítása esetén megmutatja, hogyan változik a hűtőolajjal érintkező a súrlódás hatására legjobban felmelegedő tárcsák felületi hőmérséklete.

## VIZSGÁLATOK LEÍRÁSA

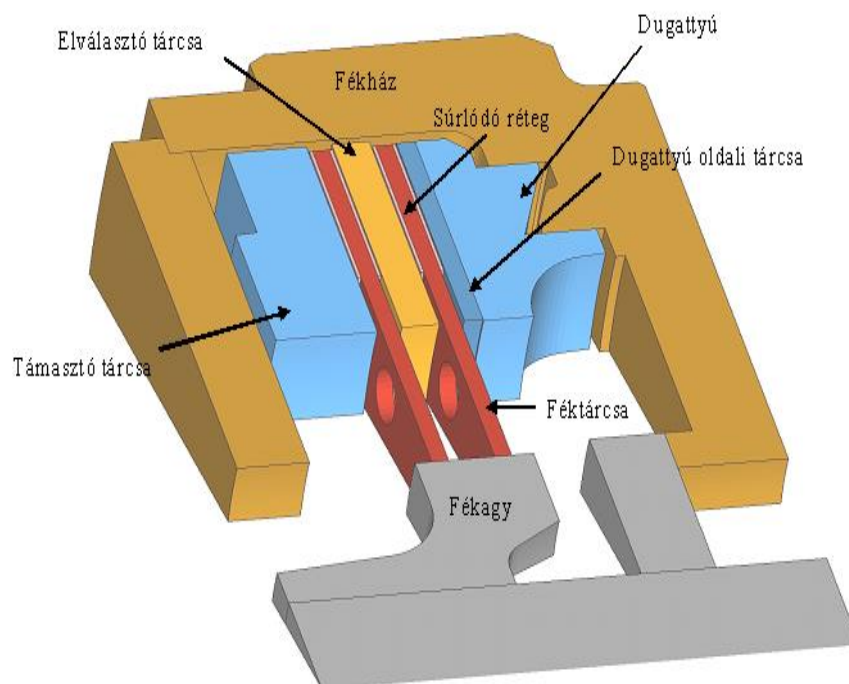
A vizsgált jármű tárcsás fékberendezése a kerékagyban található, a fékezés megkezdéséig nyitott állapotú, a féktárcsák nem érintkeznek egymással.

A fékház a tengelyközép felett 19 mm-ig fékolajjal van feltöltve. A fékolaj a nyitott tárcsák között szabadon áramlik, miközben hőátadási folyamatok játszódnak le.

Fékezéskor a hidraulika a forgó tárcsákat összenyomja, a tárcsák közül az olaj eltávozik. Az összezáródáskor a jármű mozgási energiája súrlódási munkává alakul, miközben hő keletkezik. Az egymással érintkező felületek között hővezetési folyamatok figyelhetők meg. A fékezés befejeztével a féktárcsák újra nyitnak, így a fékolaj ismét beáramlik a féktárcsák közé. Ott felmelegszik, majd a forgómozgás következtében fellépő centrifugális erő hatására a fékház falához csapódik. Így a konvekciós hőátadás valósul meg.

A fékezés minden esetben 40 km/h sebességről történik. A gyors vészfékezések időtartama esetünkben 2,55 sec. Ezzel a fékezéssel a teljes megállításig fékezzük a járművet.

A következő ábrán a vizsgált fékberendezés CAD rajza látható a szükséges magyarázatokkal.

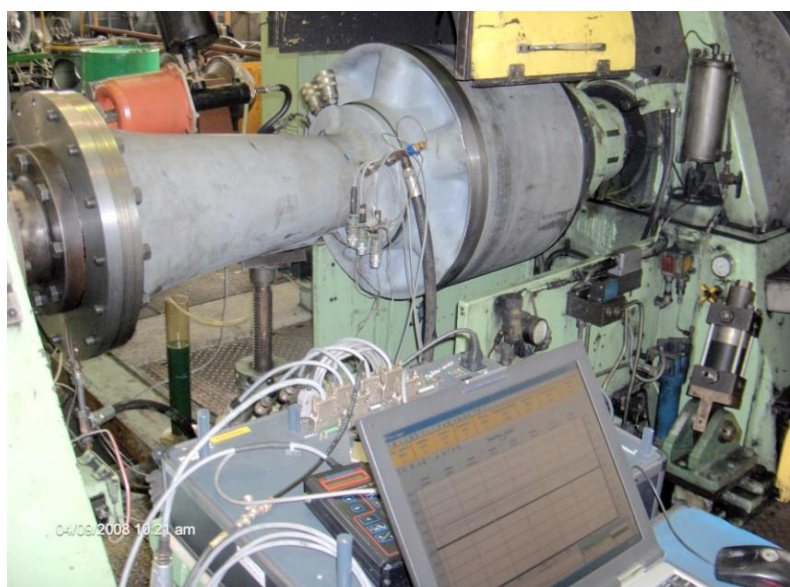


1. ábra A vizsgált fékberendezés CAD rajza (saját szerkesztés)

### MÉRÉS ISMERTETÉSE

Greening típusú kerékfék szerkezet és fékhatásosság vizsgáló berendezéssel végeztük a méréseket. A berendezés 2-13 tonna tengelyterhelésű futóművek esetén alkalmazható. Segítségével valóságos üzemi körülmények között fellépő fék igénybevételek állíthatók elő. Az adatrögzítés Hottinger Spider Mobil 16 csatornás adatrögzítő berendezéssel történt.

Vizsgálati egységként egy felfogató tárcsával lezárt terű hídház-fél, és a rajta csapágyazott kerékagy összeállítás van felszerelve a berendezésre.



2. ábra Mérésre előkészített hídház (saját felvétel)

Az olajhűtőbe be- és kilépő olaj hőmérsékletét platina érzékelők mérték. Az olajhűtő úgy lett automatizálva, hogy ne engedje az olaj hőmérsékletét  $80\text{ C}^\circ \pm 10$  fokban meghatározott hőmérséklet határokon kívül esni.

A vizsgálat során az elválasztótárcsán történt a hőmérsékletmérés. Az elválasztótárcsa 12 mm széles. Ebbe két hőérzékelő került elhelyezésre egy 50 mm mélységű 3 mm átmérőjű furatba.

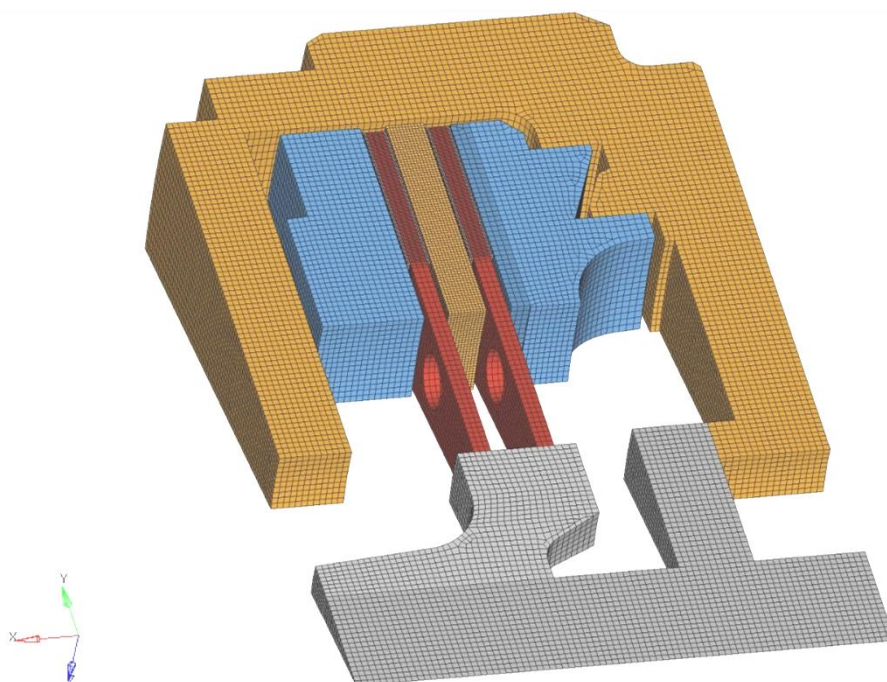
Az első hőérzékelő az elválasztótárcsa keresztmetszetének közepébe, azaz szélétől 6 mm-re, a másik hőérzékelő a tárcsa szélétől 3 mm-re lett beépítve.

### SZÁMÍTÓGÉPES MODELLEZÉS

Napjainkra lehetővé vált az egyes alkatrészekon lejátszódó dinamikai, hőtani, áramlástan stb. problémák modellezése. Ehhez végesselemes szoftverek segítségével vehető igénybe. Ezen megoldók használata során modellezhetővé válnak a bonyolultabb folyamatok is. Lehetőség nyílik a korábban valamely CAD rendszerrel megrajzolt berendezés egyes alkatrészeire megadni azok fizikai tulajdonságait, majd a valóságban előforduló terhelésekkel ellátni. Ezt követően a végesselemes futtatás után kiértékelhető eredményekhez jutunk. Az eredmények vizuálisan is megjeleníthetők, tehát a valóságos berendezés megépítése nélkül, valódi kísérletek során fellépő tönkremenetel nélkül vizsgálhatjuk az egyes terhelések hatásait [5].

Munkánk során nem az egész kerékagyat vizsgáltam, csak a fékberendezés egy részére, annak szeletére terjedt ki a modellezés (lásd 3. ábra).

A fékberendezés megrajzolása Pro-ENGINEER. segítségével történt. A modellt 162671 darab Lineáris HEXA és PENTA elem alkotja.



3. ábra Fékberendezés modellezésre előkészített szelete (saját szerkesztés)

#### Anyagi tulajdonságok beállítása (MAT4)

A hálózott modellen már létre lehet hozni az egyes komponenseket, majd az anyag-kártya létrehozásával megadhatók a berendezésre vonatkozó anyagi tulajdonságok. Esetünkben 3 kártya létrehozása szükséges külön az acél, a súrlódó réteg, és a szürkeöntvény elemek részére.

|               | $\lambda$ (W/mK) | c (J/kgK) | $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) | $\alpha$ (W/m <sup>2</sup> K) |
|---------------|------------------|-----------|-----------------------------|-------------------------------|
| acél          | 43,013           | 473,4     | 7820                        | 1500,2                        |
| súrlódó réteg | 0,3              | 1400      | 1000                        | 860                           |
| szürkeöntvény | 50,013           | 506       | 7150                        | 1540,2                        |

1. táblázat Berendezés anyagi tulajdonságai [9]

Ahol:

c- fajhő

$\rho$ - sűrűség

$\alpha$ -konvekciós hőátadási tényező (saját számítások alapján)

$\lambda$ -hővezetési tényező értéke

#### Hőterhelés

Az anyagi tulajdonságok meghatározása után az egész berendezésre „interfészek”-kel azaz különböző felület csoportokkal adtuk meg a terhelést. Mivel a Nastran végelelemes megoldó folyadékáramlási problémák megoldására nem alkalmas, ezért a hőközlésben részt vevő hőátadási ellenfelületekre is „interfészeket” hoztunk létre, majd feltételezve a vékony folyadék réteg lamináris jellegét, a felületre merőlegesen a hőközlést mint hővezetést modelleztük.

#### Hőtani modellezés

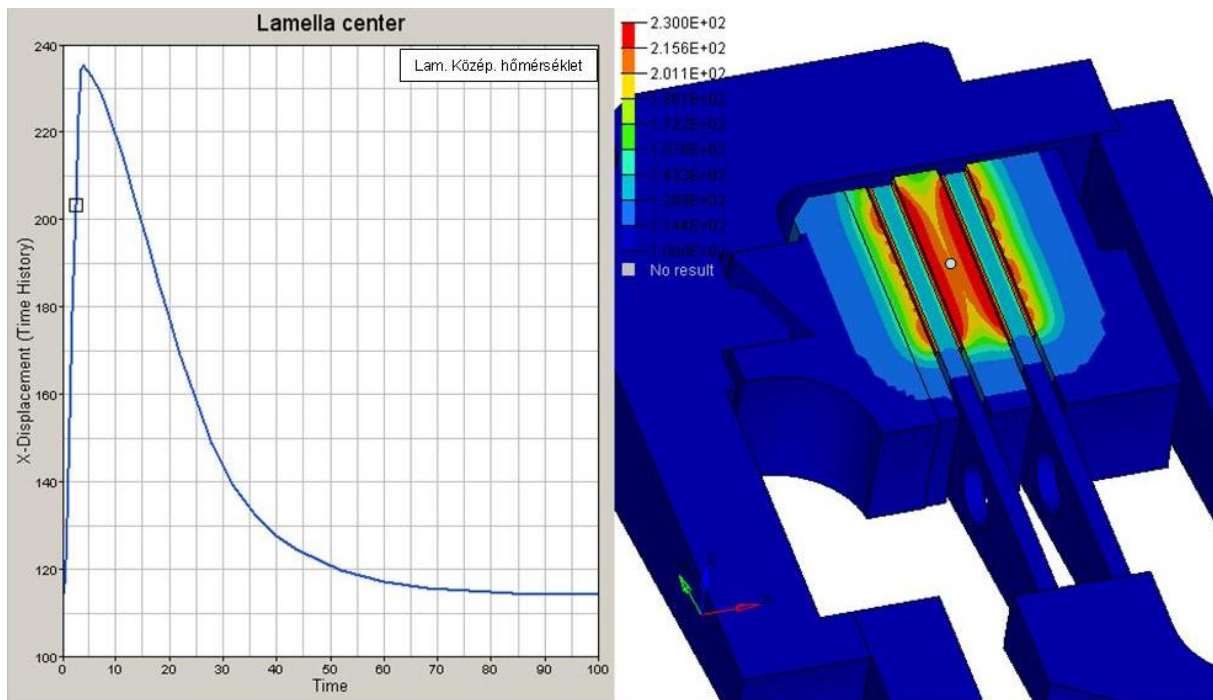
A geometria végelelemes futtatásra való előkészítése után az MSC/NASTRAN felhasználásával történt a geometria modellezése.

- Maga az analízis tranziens nemlineáris – SOL159
- Kezdeti értéknek kiinduló hőmérséklet eloszlás lett megadva.
- Peremfeltételnek konstans környezeti hőmérsékletet vettünk fel.

Hőátadási folyamatok során időfüggő konvektív hőátadási tényezők (HTC)-k lettek beállítva. [4, 5]

## EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA

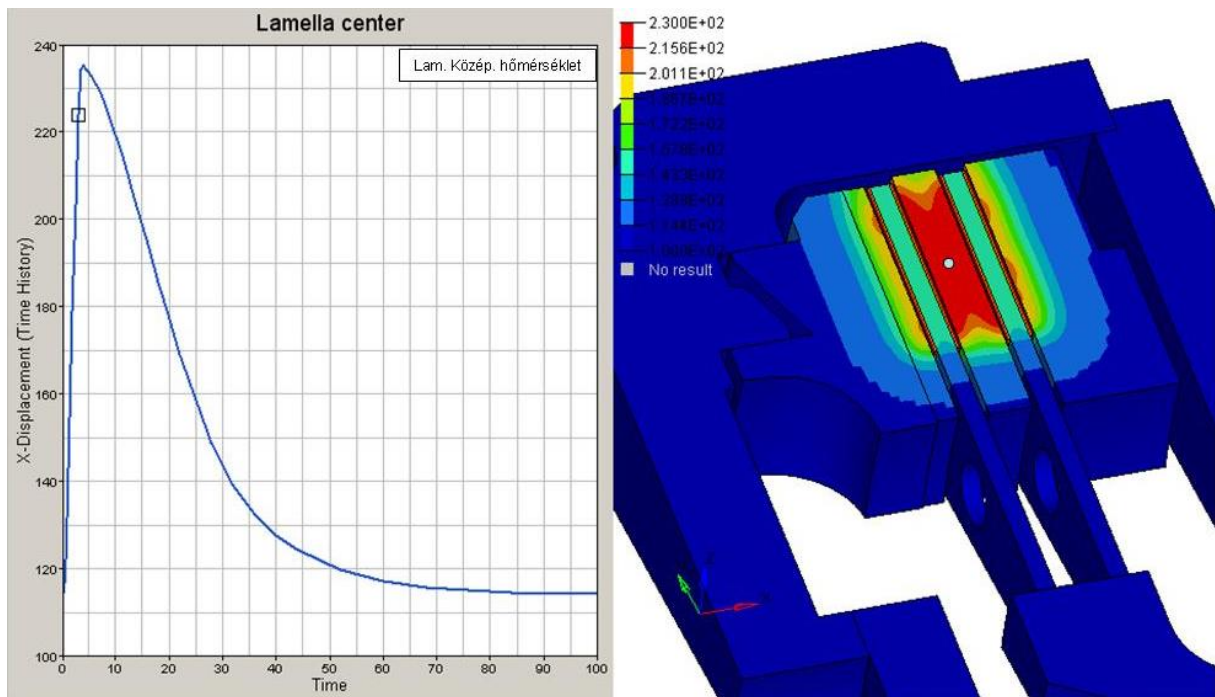
Az alábbiakban a vizsgálati fékezés megkezdését követő, a fékberendezésben kialakuló hőmérséklet-változások alakulása kerül bemutatásra számítógépes diagramokon időegység függvényében.



4. ábra Fékberendezés hőmérséklete a fékezés 2,4 másodpercében (saját szerkesztés)

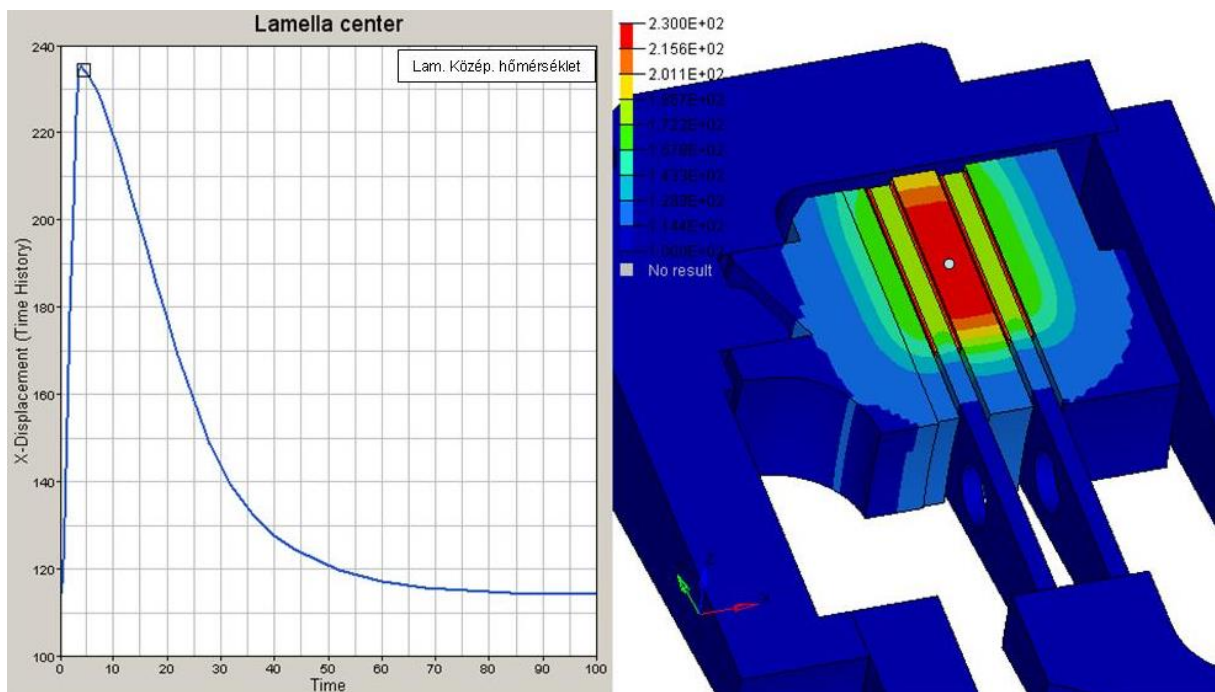
A 4. ábra a fékezés megkezdését követően 2,4 másodperc elteltével mutatja a hőmérséklet alakulását a tárcsás fék esetében. A mérési pont helyén a hőmérséklet  $203\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Mint ez várható volt, az elválasztó tárcsa és a vele közvetlenül súrlódó féktárcsákra préselt súrlódó réteg hőmérséklete megközelíti a  $215\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot. Mivel a súrlódó réteg rossz hővezető képességgel bír, ezért a féktárcsák hőmérséklete  $128\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A dugattyú oldali tárcsa és a támasztó tárcsa a szimmetria miatt hasonló intenzitással melegszik. Hőmérséklete  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$  körüli, míg a súrlódó felületeken ennél természetesen magasabb értékű  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  -ot is meghalad. A dugattyúnak a dugattyú oldali tárcsával érintkező felülete  $128\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os.

Mivel a fékezés még nem ér véget a következő ábrán is az figyelhető meg, hogy a berendezés egyes alkatrészei egyre jobban felmelegednek. Az elválasztó tárcsa külső legnagyobb sugarához közelítve a hőmérséklet növekedés mérsékelt. Ennek oka, hogy az elválasztó tárcsa átmérője nagyobb, mint a féktárcsák átmérője, így a féktárcsák nem súrlódnak az elválasztó tárcsa teljes felületével. A 4. ábrán az megfigyelhető, hogy a vizsgált konstrukció esetén a féktárcsáknak nem a teljes felületére préselték rá a súrlódó réteget, ezért az elválasztó tárcsa felületének csak egy része vesz részt a súrlódási folyamatokban.



5. ábra Fékberendezés hőmérséklete a fékezés 2,5 másodpercében (saját szerkesztés)

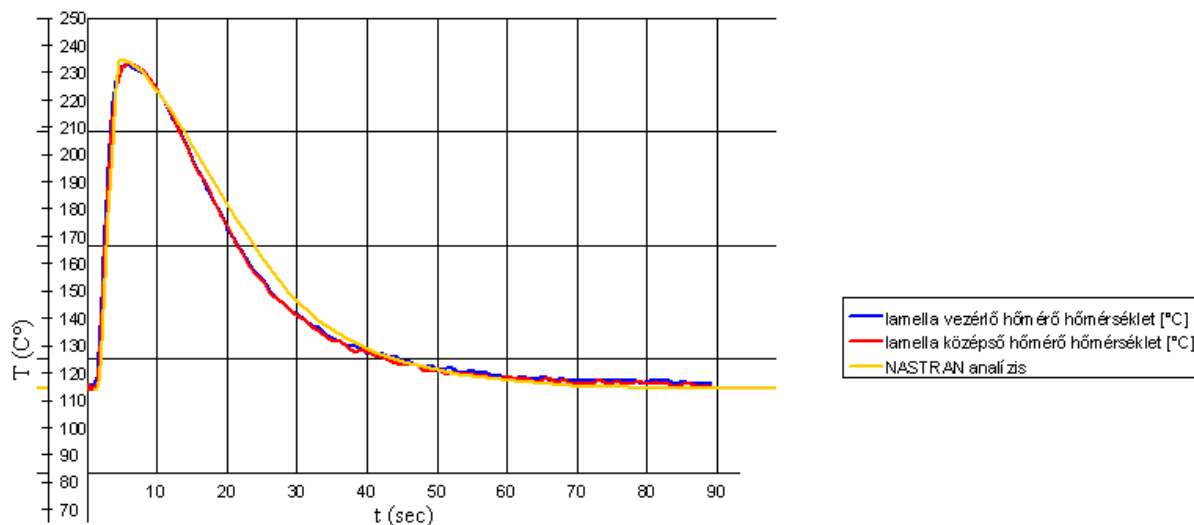
Az 5. ábrán látható, hogy a fékezés megkezdését követő 2,5 s elteltével az elválasztó tárcsa hőmérséklete eléri a 225 °C-ot. A súrlódó réteg hőmérséklete szintén 230 °C. A féktárcsák hőmérséklete is növekszik, hőmérsékletük 143 °C. A dugattyú oldali tárcsa hőmérséklete már 190 °C. A dugattyú hőmérséklete a dugattyú oldali tárcsával való érintkezési felülete 143 °C.



6. ábra Fékberendezés hőmérséklete a fékezés 2,55. másodpercében (saját szerkesztés)

A 6. ábra a 2,55 s-os időpillanatban a fékezés befejeződésekor mutatja a hőmérséklet értékeket. További hőmérsékletnövekedés nem várható. Az elválasztó tárcsa súrlódásban részt vevő felületének hőmérséklete 234 °C. A féktárcsák hőmérséklete 172 °C. A dugattyú oldali

tárcsa 158 °C. A dugattyú súrlódó felülete 143 °C. A fékház a teljes fékezési folyamat alatt 100 °C.



7. ábra A mérési- és a Nastran analízissel kapott eredmények összehasonlítása (saját szerkesztés)

A 7. ábrán három hőmérsékletlefutás görbe látható. A három görbe maximális hőmérséklete közel azonosnak tekinthető, jó közelítéssel 234 °C.

Piros színnel jelölve látható a 12mm vastagságú elválasztó tárcsa közepében elhelyezett hőérzékelő által mért hőmérséklet változása az idő függvényében. A kék vonal azt a hőmérsékletlefutást jelöli amelyet az a hőérzékelő mért amely ugyancsak az elválasztó tárcsába lett elhelyezve, de annak szélétől 3 mm-re. Mivel a fékezés rövid idejű vészfékezés, a hőterhelést nagyon gyorsan kapja meg a berendezés. Emiatt a két hőérzékelő által mért hőmérsékletlefutás szinte teljesen azonos.

A harmadik, sárga színnel jelölt görbe a Nastrannal modellezett hőtani folyamat eredményét mutatja. A számítógépes vizsgálat eredményei csak kis mértékben térnek el a mért eredményektől. Az eltérések főleg a hőterhelést követően a berendezés lehülési szakaszában figyelhetők meg. Ezek az elfogadható mértékű különbségek szempontunkból nem bírnak jelentőséggel.

Mivel a végelemes eredmények illetve a valós mérések közötti eltérés 10% hibahatáron belül található, a modellt alkalmas további optimalizálási feladatok végzésére.

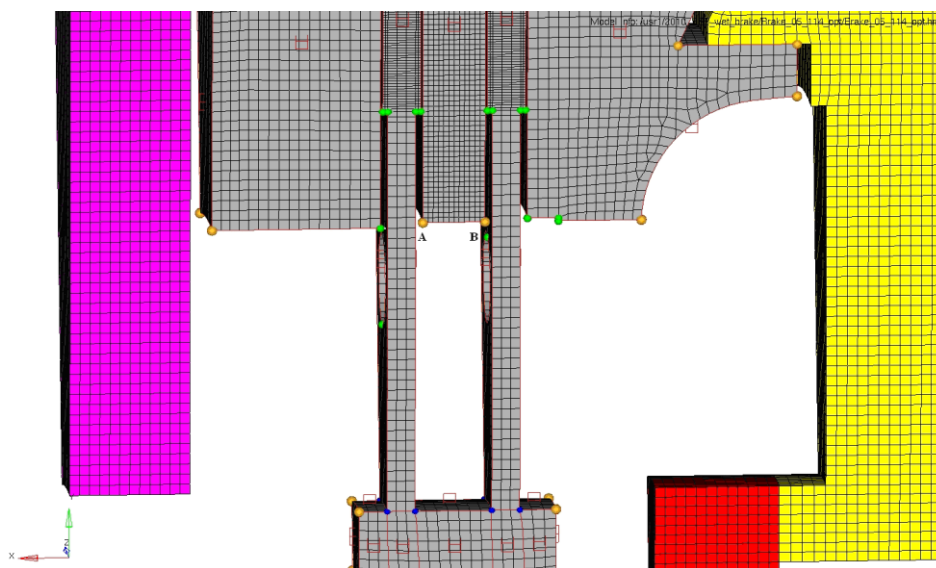
A fékberendezés optimalizálásának célja az elválasztó tárcsa hőmérsékletének csökkentése. A fékberendezést úgy változtatjuk, hogy az elválasztó tárcsa vastagságát csökkentjük, illetve növeljük. Majd a megváltoztatott berendezés elválasztó tárcsájának hőmérsékletét - figyelemmel arra, hogy a vizsgált hőmérséklet helye azonos legyen a mérési pont helyével - összevetjük a kiinduló geometria hőmérsékletével.

## SZÁMÍTÓGÉPES OPTIMALIZÁLÁS

A tárcsafék optimalizálásakor a középső elválasztó tárcsa két fogantyúja sárga, független fogantyú. Ezekhez a fogantyúkhöz vannak hozzárendelve a zöld fogantyúk úgy, hogy a jobb oldali a 8. ábrán általam B-vel jelölt fogantyúhoz a tőle jobbra eső fogantyúk, az általam A-vel jelölt bal oldali fogantyúhoz a tőle balra eső fogantyúk vannak hozzárendelve. Az optimalizáció során az A és B betűvel jelölt két fogantyúval tudjuk a tárcsa vastagságát megváltoztatni. Erre két lehetőség nyílik. Ha a tárcsát egy irányban mozdítjuk el, az egyik fogantyút rögzítjük, és ehhez képest elmozdítjuk a másikat, vagy szimmetrikusan változtatjuk

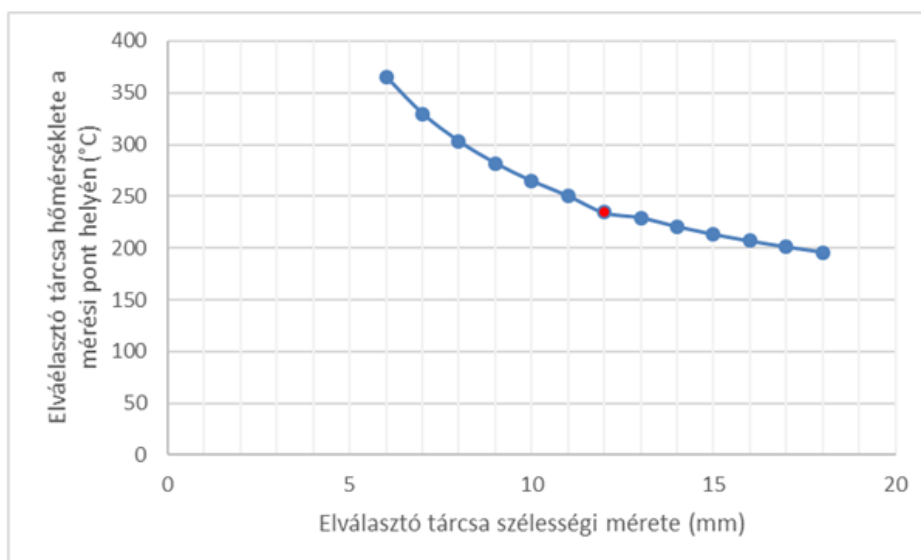


az alakzatot. Jelen esetben a 8. ábrán B-vel jelölt fogantyút állítottuk be fixnek. Az optimalizáció során miközben az elválasztó tárcsa szélességét csökkentettük, a támasztó tárcsa szélessége az elválasztó tárcsa lecsökkentett értékével nőtt. Az elválasztó tárcsa szélességének növelésekor a támasztótárcsa szélessége azonos értékkel csökkent.



8. ábra A fékberendezés függő illetve független kapcsolatban álló fogantyúi (saját szerkesztés)

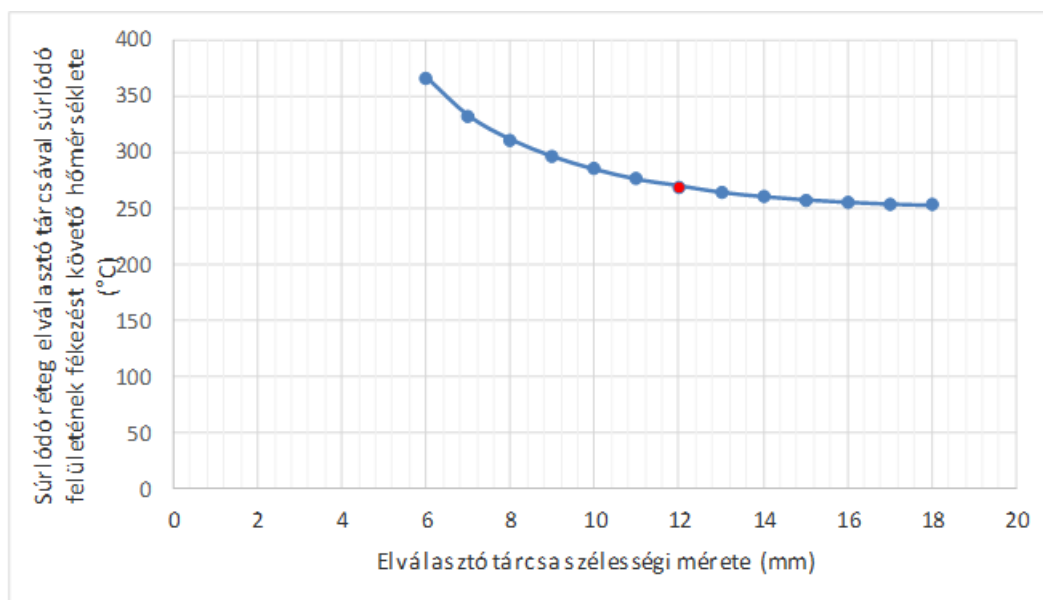
Az így kapott eltérő vastagságú elválasztó tárcsás modelleken ismételt hőtani futtatást végeztünk. Az eredményeket a 9. ábra szemlélteti. Az ábrán látható hőmérséklet értékek a hőtani futtatást követően az elválasztó tárcsa azon pontjának értékei, melyek helye azonos a próbapadi mérés során az elválasztó tárcsa középpontjában elhelyezett érzékelő helyével. Az ábrán pirossal jelölt a valós berendezés 12 mm vastag elválasztó tárcsájához tartozó hőmérséklet érték.



9. ábra Elválasztó tárcsa fékezést követő legnagyobb hőmérséklete az elválasztó tárcsa vastagságának függvényében (saját szerkesztés)

A 9. ábráról leolvasható, hogy az elválasztó tárcsa vastagsági méretének változtatásakor amennyiben a kezdeti 12 mm-es vastagságot csökkentjük, a tárcsa hőmérséklete a fékezés következtében nő, míg az elválasztó tárcsa vastagsági méretének növelése a tárcsa fékezést követő hőmérsékletének csökkenését eredményezi.

Az elválasztótárcsa vastagságának változásával megváltozik a fékezés során az elválasztótárcsával súrlódó papírréteg hőmérséklete is. A 10. ábra azt szemlélteti, hogy milyen hatással van az elválasztótárcsa vastagságának megváltozása a súrlódó réteg felületi hőmérsékletére.



**10. ábra** Elválasztó tárcsa, és a féktárcsára préselt súrlódó réteg felületén kialakuló, a fékezést követő legnagyobb hőmérséklet az elválasztó tárcsa vastagságának függvényében (saját szerkesztés)

A felületi hőmérséklet ismerete azért lényeges, mert a fékezés befejeztével a hőelvonási folyamatok során a hűtőolaj közvetlenül érintkezik az elválasztótárcsa és a súrlódó réteg felületével.

## KÖVETKEZTETÉSEK

A Differential Scanning Calorimeter (DSC) –rel történt mérések alapján a hűtőolaj termikus stabilitási határa 340-350 °C körüli. Amennyiben az elválasztótárcsa szélességi méretét 9 mm-re csökkentjük, az a súrlódó réteg felületének és a vele a fékezés során közvetlenül érintkező elválasztótárcsa felületének 300 °C-ra való emelkedését jelenti. A 300 °C körüli hőmérséklet a fékezési folyamat rövid ideje miatt még megengedhető. Ezen a hőmérsékleten a hűtőolaj károsodása még nem következik be, de az elválasztótárcsa vastagságának nagyobb mértékű csökkentése nem javasolható.

A kutatási eredmények ismeretében elmondható, hogy az elválasztó tárcsa szélességi méretének változtatásával lecsökkenthető a hűtendő felületek hőmérséklete, mellyel biztosítható, hogy a hűtőolaj hőmérséklete ne haladja meg a tönkremeneteli hőmérsékletet.

## ÖSSZEGZÉS

Írásunkban röviden ismertettük a vizsgálati feladatokat, bemutattuk a konstrukciót, valamint a próbapadi mérést. A Nastran végeeselemes szoftver felhasználásával modellezést készítettünk.

A megfelelő anyagi tulajdonságok, hőterhelések beállítását követően, a végeselemes futtatás eredményei jól közelítették a mérési eredményeket, ezért a szerzők, a felépített geometrián optimalizálást végeztek. Ennek célja, a berendezés elválasztó tárcsa vastagsági méretének megváltoztatásával a fékezés során egymással súrlódó elválasztó tárcsa és a féktárcsára erősített súrlódó réteg felületi hőmérsékletének csökkentése volt. A fékezés befejeztével kialakuló legnagyobb felületi hőmérséklet ismeretére azért van szükség, mert a féktárcsákat hűtő fékolaj hőmérséklete határrétegében azonos a tárcsák hőmérsékletével, és ez a hőmérséklet nem érheti el az olaj tönkremeneteli hőmérsékletét. Kutatásainkkal fel kívántuk hívni a figyelmet a fékberendezések hatékony üzemeltetésének fontosságára, ezért bemutattuk, hogy a vizsgált fékberendezésnél az elválasztótárcsa vastagságának milyen mértékű változtatása mellett nem következik be a hűtőolaj károsodása, továbbá az ebből adódó fékezési hatásfok csökkenés.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] KUTI R.: *Veszélyes anyag balesetek felderítését támogató eszközök a svájci tűzoltóságnál*, VÉDELEM - KATASZTRÓFA- TŰZ- ÉS POLGÁRI VÉDELMI SZEMLE 19:(3) pp. 26-28. 2012
- [2] KUTI R.: *Műszaki Mentések I-II. Egyetemi Jegyzet*, Zrínyi Miklós nemzeti védelmi Egyetem Budapest, 67. p.2007
- [3] JIANG, J. S.: *Analysis on Wet Multi-Disc Brake Based on ABAQUS*, Advanced Materials Research, Vol 421, pp. 427-430, 2011
- [4] SPULBER, C., VOLACA S.: *Comparison between some Simulation Methods Regarding the Thermal Stress on Disc Brake*, Applied Mechanics and Materials, Vols 325-326, pp. 135-141, 2013
- [5] ZHANG J., XIA, C.G.: *Research of the Transient Temperature Field and Friction Properties on Disc Brakes*, Advanced Materials Research, Vols 756-759, pp. 4331-4335, 2013
- [6] BOGDEVICIUS, M., JANUTĖNIENĖ, J., VLADIMIROV O.: *Simulation of Hydrodynamics Processes of Hydraulic Braking System of Vehicle*, Solid State Phenomena, Vols 147-149, pp. 296-301, 2009
- [7] WANG, J.B., HAN M., YU, D.Y.: *Appropriate Mass Flow Research of Lubricant for Different Oil Groove Type of Wet Multi-Disc*, Advanced Materials Research, Vols 490-495, pp. 2366-2370, 2012
- [8] ZHENG, X.J., LUO T.H., JIA, C.: *Dynamic Response Modeling of Fluid-Solid Coupling for Wet Brake Disc*, Applied Mechanics and Materials, Vols 475-476, pp. 1397-1401, 2013
- [9] RAŽNJEVIĆ, K.: *Hőtechnikai táblázatok*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964.