

FÉKTUSKÓ-KERÉKABRONCS KAPCSOLAT KOPÁSI VISELKEDÉSE

WEAR BEHAVIOR OF A BRAKE BLOCK-WHEEL CONNECTION

Szücs János^{*}, Dr. Váradi Károly^{**}, Dr. Zobory István^{***}, Dr. Szabó András^{****}

ABSTRACT:

This manuscript presents the braking process experimental examination and simulation obtained from the 1:4 scale test bench of the Railway Vehicle and Vehicle-system Analysis Department, BME. The aim of the examination was to determine the wear propagation in the brake block during sequential brake processes. For modeling the wear process the Pödra type linear wear equation was applied. During the Finite Element simulation the test cycle was modeled in 100s time intervals while the thermal behavior and the effect of heat expansion were neglected. The completed values approximate well the measured values of wear during the tests.

1. BEVEZETÉS

A Vasúti Járművek és Járműrendszeranalízis Tanszéken telepített görgős súrlódásvizsgáló próbapad alkalmas 1:4 méretarányú kerék-féktuskó, valamint kerék-sín kapcsolat kísérleti vizsgálatára, akár a kerék futási szög változtatása mellett is. A kerék és a futási görgő (sín) egymáson való legördülését, a kerék tengelyére kifejtett, állandó függőleges kerékerhelés által létrehozott tangenciális súrlódó erő biztosítja.

A vizsgálat során egyoldali fékezést alkalmaztunk, ami azt jelenti, hogy a modell kereket egy oldalról, egy féktuskóval fékeztük. A tuskó kopását kívántuk kísérletileg meghatározni.

A laboratóriumi mérésekkel párhuzamosan végelemes számításokat is végeztünk a kopás szimuláció módszerének fejlesztése érdekében.

2. A MÉRÉSI FOLYAMAT LEÍRÁSA

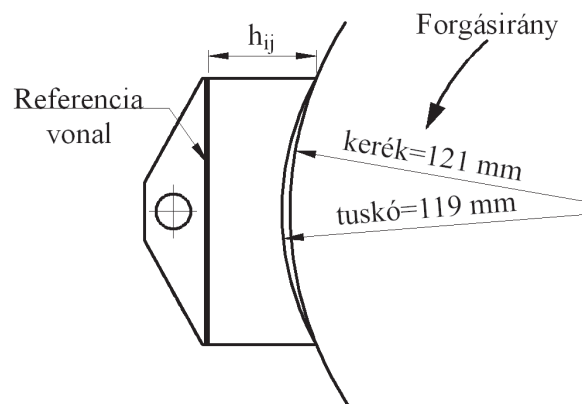
A vizsgálatok során egy a napjainkban is használt P10-es anyagú, 1:4-es léptékű féktuskó kopását határoztuk meg. A kapcsolódó kerék anyaga S235JR általános acél, melynek geometriája annyiban eltér a valós méretű keréktől, hogy felülete hengeres, nem pedig kúpos kialakítású. A féktuskó és a modellkerék anyagtulajdonságait az 1. táblázat mutatja be.

1. táblázat. A tuskó és a kerék anyagjellemzői

Féktuskó	P10	MÁVSZ 2650-2:2008
Jelölés	Tulajdonság	Érték
E_t	Rugalmassági modulus	$1,023 \times 10^5$ MPa
ν_t	Poisson tényező	0,25
Kerék	S235JR	MSZ EN 10025/99
E_k	Rugalmassági modulus	$2,1 \times 10^5$ MPa
ν_k	Poisson tényező	0,3

A kopás vizsgálatok során a kerék hengerfelületének sugara és a féktuskó kerékhez kapcsolódó hengeres felületének sugara eltérő volt a kiinduló állapotban (1. ábra), így a fékezés kezdeti pillanatában a féktuskónak csak a két szélső éle (belépő és kifutó él) kapcsolódott a kerék felületével. A féktuskó felületét a mérések előtt megmunkáltuk (10. ábra), így annak felületén később jól láthatóvá váltak a kialakult kopásnyomok. A modell kerék felülete, az előző mérések miatt, már némiképp kopott volt, de ez a féktuskó kopás szempontjából elhanyagolható.

A féktuskó koptatás futamának időtartama 100 s volt. A kezdeti szakaszban, a már fentebb említett érintkezés geometriai viszonyainak következtében, a kopási folyamat intenzívebb volt, melynek oka a súrlódó erő kis területre koncentrált fellépése a féktuskó kerékkel vett érintkezési felületén.



1. ábra Tuskó és kerék kezdeti geometriai viszonyai

* tanszéki mérnök, BME Gép- és Terméktervezés Tanszék

** egyetemi tanár, BME Gép- és Terméktervezés Tanszék

*** egyetemi tanár, BME Vasúti Járművek és Járműrendszeranalízis Tanszék

**** egyetemi docens, BME Vasúti Járművek és Járműrendszeranalízis Tanszék

A tuskó kopását alapvetően két paraméter befolyásolja fékezés közben, a két elem közötti relatív csúszási sebesség (modellkerék kerületi sebessége), valamint a fékezőerő (tuskóerő), melyek beállítására a próbapad alkalmas volt, az alábbiak szerint:

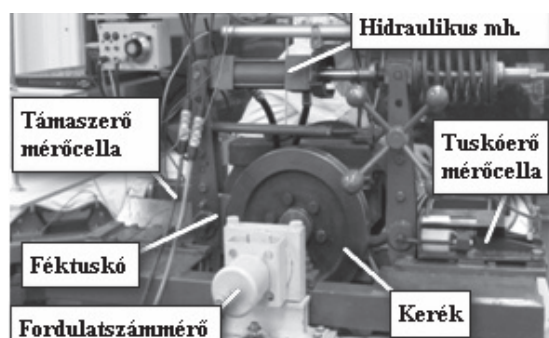
- a kerék kerületi sebessége (a hajtásrendszeren keresztül, egy fordulatszám-szabályozott egyenáramú motorral), amelynek értéke: 11,6 m/s.
- a tuskóerő (hidraulikus munkahengerrel egy nyomó rugón át), amelynek nagysága: 500 N.

A mérések során az alábbi mennyiségeket mértük:

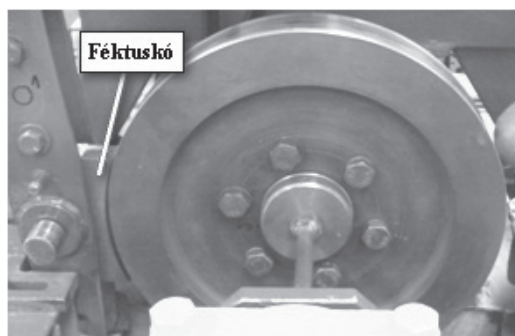
- a féktuskóerőt (erőmérőcella),
- kar áttételen keresztül kifejtett „támaszerőt” (erőmérőcella), amiből számítható a súrlódó erő és a súrlódási tényező értéke.

A mérésekből meghatároztuk a súrlódási tényező átlagos értékét, amely $\mu=0,34$ adódott, amelyet a későbbi végelelemes kopásszimuláció során felhasználtunk.

A mérési elrendezést a 2. ábra és a 3. ábra mutatja be.



2. ábra. Mérési elrendezés



3. ábra. Féktuskó és a modellkerék az 1:4 léptékű mérőpadon

3. FÉKTUSKÓ KOPÁSA

A féktuskó kezdeti alakjából adódóan várható volt a féktuskó gyors bekopása, amelyet a későbbi eredmények igazoltak is. Fékezéskor a kerék forgásának következtében, a tuskó felületének terhelése eltolódik a felület kb. felső kétharmadába, így ezen a tartományon a felület igénybevétele kb. 20%-kal megnövekszik az álló állapothoz képest, ezáltal ennek kopása nagyobb lesz, ez a későbbi mérésekből és számításokból is jól látható. A

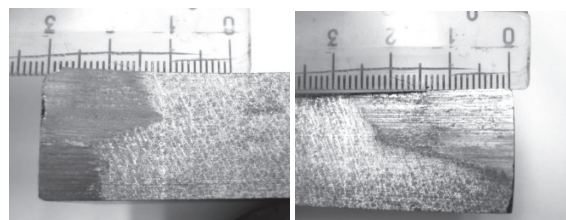
terhelésnek ez a változása a tuskó magassága mentén, a súrlódó erő visszahatásából adódik. A tuskó belépő éle, ami egyben a nagyobb terhelésű él is, (az 1. ábra alapján a felső éle a féktuskónak) lép először kapcsolatba a kerék felület „beérkező” pontjával, így a tuskó felső harmada, az ily módon kialakuló erőrendszer következtében, nagyobb erővel nyomódik a modellkerék felületéhez.

A féktuskó koptatási futama után szabad szemmel is jól láthatóan megkülönböztethetőek voltak egymástól a tuskó kopott felületei, és a kapcsolódásban még részt nem vevő felület rész. A féktuskón az első lépést követően kialakult kopási felületeket a 4. ábra és az 5. ábra mutatja.

A kopás nyomokból látható (5. ábra), hogy a tuskó és a modellkerék tengelyei nem voltak párhuzamosak egymással, vagy a féktuskó megmunkálása volt pontatlan a mérés előtt, így kissé ferde kopáskép alakult ki a kapcsolódási felületen.



4. ábra. Kopott felületek 100 s után



5. ábra. Kopott felületek 100 s után a két kopási terület kinagyításával

A későbbi koptatási futamok során, a tuskó teljes bekopásakor, a hibákból adódó kezdeti ferde kopási kép eltűnt, mivel a tuskó teljes felülete bekopott.

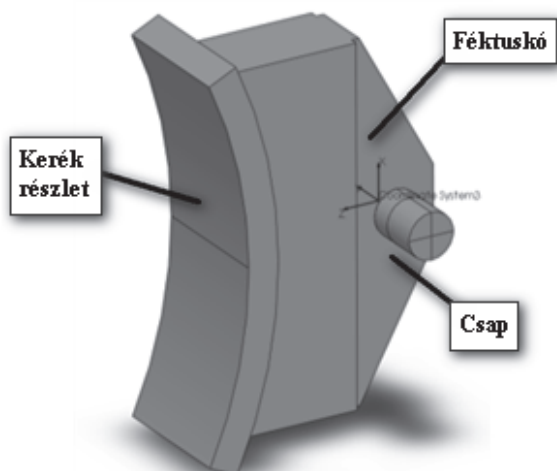
4. FÉKTUSKÓ KOPÁS MEGHATÁROZÁSA VÉGESELEMES MÓDSZERREL

1.1. A kopásszámításhoz használt geometriai és végelelemes modell

A végelelemes számításokhoz geometria modelleket készítettünk, valamint ezekből egy összeállítást, amelyek méretei megegyeznek a mérőpad elemeinek méretével. A végelelemes számításokhoz felhasználtuk a mérés során mért adatokat, a súrlódási tényezőt, tuskóerőt, valamint a korábban már említett anyagjellemzőket (1. táblázat).

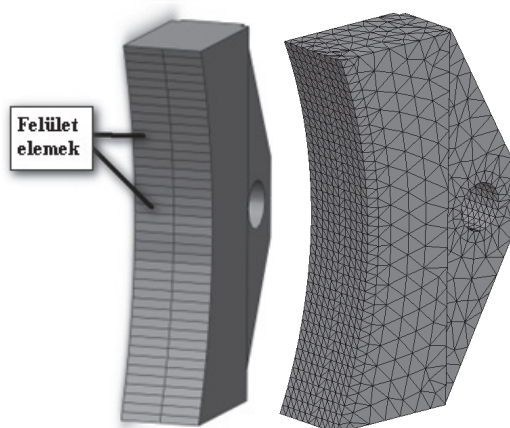
Az összeállítási modell tartalmazza a kerék egy részletét, a féktuskót, és a féktuskó pozícióját meghatározó csapszeget, amely az erőbevezetés módját könnyíti meg

a végeselemes peremfeltételek definiálásakor. A geometriai modellt a 6. ábra mutatja.



6. ábra. A számításhoz használt összeállítási modell

A tuskó felületének diszkretizálása során, annak 119 mm sugarú kerékkel kapcsolódó felületét (1. ábra), 40 db egyenlő felület elemre osztottuk, ezek magassága 2,3 mm, ez megfelel a végeselemes számításokhoz készült háló (7. ábra) elemméretével, a kapcsolódási felületen. Szélessége a féktuskó szélességével megegyező nagyságú.



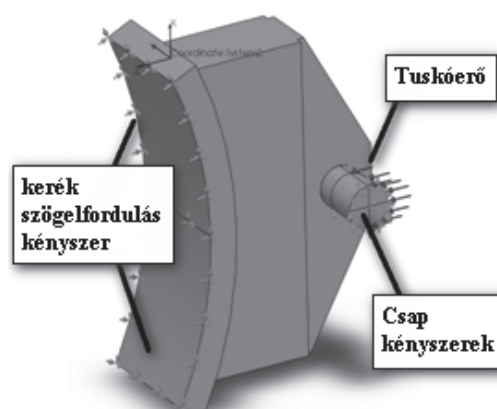
7. ábra. Féktuskó geometriai modell, a felosztott felülettel, és a tuskó hálózott modellje

2. táblázat. Végeselemes háló adatai

Elemméret	Globális:	5 mm
	Kerék, kapcsolódási felületén:	1 mm
	Tuskó, kapcsolódási felületén:	2,3 mm
	Csap, kapcsolódási felületén:	2 mm
	Tuskó furatában:	1 mm
	Csomópontok száma:	6732
	Elemek típusa:	4 csp. tetéder

A felosztásra azért volt szükség, hogy olyan felületet készíthessünk, amelynek méretei, a referencia vonalhoz képest, változtathatóak (1. ábra, 9. ábra $h_{i,j}$). Az így definiált méretek változásával a felület változtathatóvá válik a kopás szimuláció során. Így megvalósítható a végeselemes csomópontok mozgatása. A modellt minden egyes számítási lépés után a számítási algoritmus újra hálózza (9. ábra), ezzel biztosítja az végeselemek szabályosságát, pontosságát.

A modell stabilitása érdekében, a számításokban paraméterként jelen van az érintkező szerkezeti elemek egymáshoz képesti távolsága is (kerék-tuskó). Ez biztosítja, hogy a kopás hatására létrejövő méret különbség ellenére, a tuskó mindig érintkezzen a kerékkel, így nem alakul ki a tuskó merevtestszerű mozgása a kerék irányába. Az analízis során a kerékmodell szögelfordulása kvázi statikus ($\varphi=0,01^\circ$), de ez elegendő a fékezés során létrejövő terhelés eloszlás kialakulásához, ahhoz, hogy a súrlódó erő fellépjen (8. ábra). A kerék radiális irányban nem mozdulhat el. A féktuskó vízszintes irányban a nyomódik a kerék felé, miközben a csap függőlegesen rögzítve van.



8. ábra. A végeselemes számítás terhelései és peremfeltételei

1.2. Kopás számítása a Pödra modellel

A kopás számítás során csak a tuskó kopását számítjuk, mivel modellkerék anyagának keménysége jóval nagyobb, így a számítás időtartama alatt annak kopása elhanyagolhatóan kicsi.

A kopás mennyiségi meghatározására használt Pödra-féle lineáris kopás egyenletet az alábbi összefüggés írja le [1][2][4]:

$$\Delta h_{i,j} = w_s p_{i,j} v \Delta t, \quad (1)$$

ahol:

$\Delta h_{i,j}$ az i-edik csomópontban, a j-edik lépésben kialakult kopási növekmény [mm],

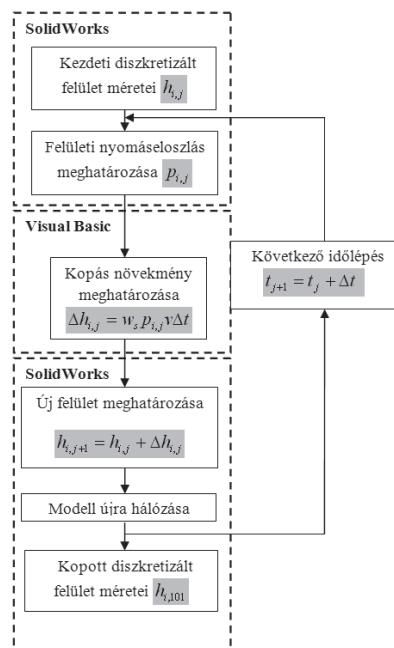
- $p_{i,j}$ az i -edik csomópontban, a j -edik lépésben ébredő normál feszültség értéke [MPa],
- w_s a mérésekből származtatott fajlagos kopási tényező $[1] \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{Nm}} \right]$, melynek a számítások során felvett értéke $w_s = 0,129 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{Nm}} \right]$ [3].
- Δt az időlépés, értéke 1 s,
- v a modellkerék kerületi sebessége $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$.

A csomópontokhoz tartozó méretek változtatása egy a SolidWorks Simulation 2009 rendszerhez írt Visual Basic alkalmazással történt [5].

A program a beolvasott koordináta pontok, valamint a méretek alapján azonosítja a diszkrétizált felületek élére eső végeleemes csomópontokat. A csomópontokban ébredő érintkezési feszültségek alapján, meghatározza a kopásnövekményt az egyes időlépésekben, majd a növekmény értékével módosítja az adott csomópontokhoz tartozó geometriai méretet (9. ábra). A számított geometriai méretek alapján módosítja a tuskó felületét, majd ezután újra hálózza a modellt.

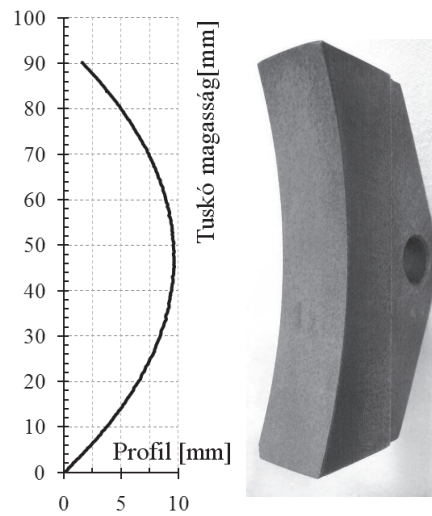
A 9. ábra jelölései az alábbiak:

- $h_{i,j}$ az i -edik csomópontban, a j -edik lépésben az adott felület elem élének aktuális mérete a referencia vonaltól [mm],
- t_j a j -edik időlépés [s],
- t_{j+1} a következő időlépés.



9. ábra. A kopászámítás elvi folyamatábrája

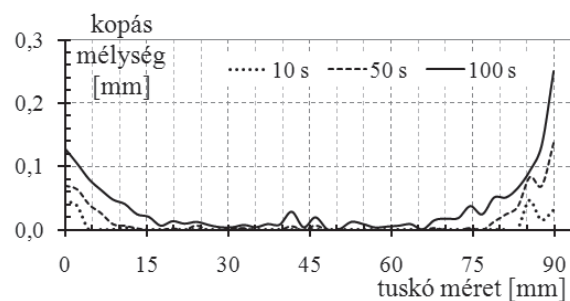
A kopásmélység szemléltetésére a tuskó kiinduló profiljának (10. ábra) és a számításból kapott profiljának különbségét határoztuk meg.



10. ábra. A tuskó kiinduló profilgörbéje és a kiinduló megmunkált felülete

Az ily módon végzett számítások eredményei a 11. ábra mutatja. A diagram a számítás 10-dik, 50-dik, és 100-dik időpillanataiban meghatározott kopásmélységet mutatja, (az eredeti profilhoz képest) a féktuskó hossza mentén, a tuskó közép vonalán.

Az ábra alapján látható, hogyan növekszik a kopási terület, valamint kopás mélység változása a fékezés során. A kopási kép a terhelés eloszlás eltolódása miatt aszimmetrikus lett, így a tuskó felső élének környezetében (diagram jobb oldala) annak kiterjedése nagyobb. Az aszimmetrikus kép egyben igazolja a végeleemes modell helyességét is, mivel az jól leírja a fékezés közben kialakult terheléeloszlásból adódó nagyobb kopás mértékét a tuskó felső kétharmadában.

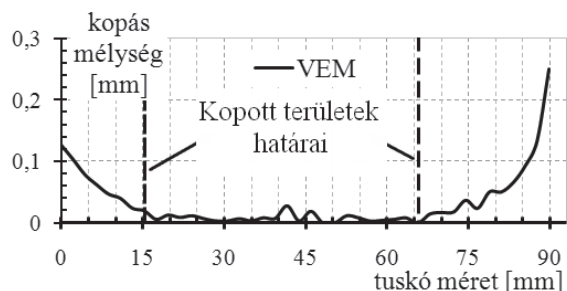


11. ábra. VEM-el számított kopásmélység 10 s, 50 s, és 100 s elteltével

5. MÉRÉSI ÉS SZÁMÍTÁSI EREDMÉNYEK ÖSSZELETÉSE

A 12. ábra a futamra vonatkozó próbapadi és koptatási mérés eredmények összevetését mutatja a végeleemes számítás eredményeivel. Az ábra a számítással kapott

kopási mélységet mutatja folytonos vonallal, valamint a mérésből kapott kopott felület átlagos hosszmeretét, szaggatott vonallal.



12. ábra. Végeleemes számításokkal kapott, és mért értékek összehasonlítása 100 s esetén

A kapott eredményekről elmondható, hogy a számított és a mért értékek jól közelítik egymást, annak ellenére is, hogy a mérés maga nem elegendően pontos. A tuskó alsó felén, itt féktuskó kopásterület hosszirányú mérete kb. 15 mm. A nagyobb terhelésű oldalon, a tuskó felső kétharmadában a kopásterület hosszirányú mérete kb. 25 mm. A két számított kopásterület mértékből is látható a méréseknél tapasztalt terheléseloszlás eltolódás, mely a mérési konfigurációban felvett állapotból adódik, és a súrlódó erő felléptével magyarázható.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A féktuskó kopásának meghatározása érdekében elvégzett mérések és számítások alapján meghatározható a tuskó fékezés hatására kialakuló kopott felületének nagysága. A számítások során alkalmazott Pödra-féle lineáris kopás modell alkalmas a nagy igénybe vételnek kitett alkatrészek kopásának számítására a modell újra hálózása mellett is. A továbbiakban, célszerű, olyan vizsgálatokat végezni, melyek figyelembe veszik a szerkezeti elemek hőmérséklet változását és hőtágulását is.

7. SUMMARY

Based on the tests and the computations regarding the wear of the brake block during steady braking the area of the worn surface of the brake block can be determined. The applied Pödra-type linear model –used during calculations - is suitable for wear calculation of machine elements receiving extreme loading with a remeshed mesh. Furthermore it is advisable to carry out such examination where the temperature change and the heat expansion of the element of the machine structure are considered.

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását az ÚMFT TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatja.

9. IRODALOM

- [1] P. PÖDRA, S. ANDERSSON: Simulating sliding wear with finite element method, Tribology International, Vol. 32, pp. 71-81, 1999
- [2] KÓNYA, L. – VÁRADI, K. – FRIEDRICH, K. – FLÖCK, J., Finite element modelling of wear process of a Peek-steel sliding pair at elevated temperature, Periodica Polytechnica Ser. Mech. Eng. Vol. 49, No. 1, Pp. 25-38 (2005)
- [3] ZOBORY I.: Vasúti féktuskó-kerékbrons hőtani és kopási állapotának kapcsolt vizsgálata, BME Vasúti Járművek Tanszék kutatási zárójelentés, Budapest, 2008
- [4] KÓNYA LÁSZLÓ: PEEK / acél, csúszó pár kopásának szimulációja a hőfejlődés figyelembevételével, PhD értekezés, Budapest, 2004
- [5] CZABALAY LÁSZLÓ: Optimáló környezet fejlesztése és illesztése CAE környezetben, Diplomaterv, Budapest, 2009