

# KERÉKABRONCS-FÉKTUSKÓ KAPCSOLAT SÚRLÓDÁSI ÁLLAPOTÁNAK VÉGESELEMES VIZSGÁLATA

## FE ANALYSIS OF THE FRICTIONAL STATE OF A WHEEL-BRAKE BLOCK CONNECTION

Zwierczyk Péter\*, Prof. Dr. Váradi Károly\*\*

### ABSTRACT

The FE analysis models the state when the brake system fails and the braking force exists in the time when the train departs. The FE model shows the brake block's displacements and the stress distribution in the initial sticking state and the transition onto the slip state.

### 1. BEVEZETÉS

A vasúti közlekedésben alkalmazott tuskós fékrendszer meghibásodása következtében előfordul, hogy a fékhatás a szerelvény elindulása után is fennáll. Ekkor a súrlódásból adódóan, a megcsúszás határhelyzetéig a tuskó-abroncs kapcsolat között tapadás figyelhető meg, melynek hatására a gördülő kerékkel a tuskó együtt mozdul el. A határhelyzet elérését követően, azaz azt a pontot meghaladóan ahol a súrlódásból származó tangenciális irányú feszültség eléri a megcsúszás határállapotához tartozó feszültség mértékét [1], a tuskó megcsúszik az abroncs felületén.

A készített modell segítségével feltárható az M1:4 méretarányú tuskó kisminta viselkedése, a kialakult feszültségeloszlás az egyes állapotok esetében valamint az elmozdulások.

### 2. A VEM MODELL

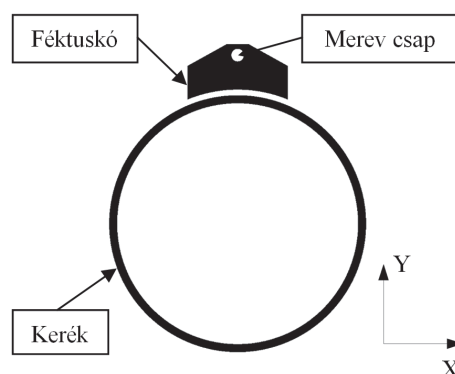
Az analízis során egy 235,9 mm átmérőjű, 30 mm széles abroncsot, valamint egy 121,5 mm ívsugarú 20 mm széles féktuskót nyomtunk egymásnak. A felmerült problémát 2D-s modell segítségével vizsgáltuk. A rövidebb számítási idő érdekében az abroncsot egy egyszerű körgyűrűként modelleztük, az elhanyagolásokat, a valóság közelítése érdekében peremfeltételekkel helyettesítettük.

\*M.Sc. Gépészmérnök hallgató, BME Gép- és Terméktervezés Tanszék  
\*\* egyetemi tanár, BME Gép- és Terméktervezés Tanszék

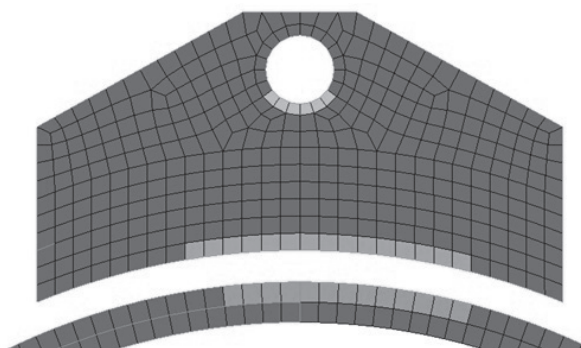
### 2.1. A 2D-s háló felépítése

A kiinduló szerkezeti modellt az 1. ábra szemlélteti. A modellezés során 3,4 mm globális elemméretű hálót alkalmaztunk. A számítás pontosságának fokozása érdekében az érintkezési tartomány környezetében adaptív háló került kialakításra a 2. ábrán jelölt helyeken. Ennek köszönhetően lokálisan az elemméret 0,0265 mm-re csökkent, amely 7. szintű adaptív hálót jelent. Mind az abroncs, mind pedig a féktuskóhoz négy csomópontos négyszög elemeket használtunk.

Az analízis során, a tuskót tartó csap tökéletesen merev testként került lemodellezésre.



1. ábra. A kiinduló szerkezeti modell



2. ábra. A végeselemes háló felépítése az adaptív hálósűrítés tartományaival

## 2.2 Az anyagjellemzők meghatározása

A modellezés során figyelembe vettük, hogy a valóságban az egyes alkatrészek milyen anyagból készülnek. Az abroncs anyaga A38-as szénacél, míg a féktuskót P14-es öntöttvasból készítik. Az egyes anyagokra vonatkozó mechanikai tulajdonságokat az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat. Anyagok mechanikai tulajdonságai

Anyagtulajdonságok (abroncs – A38 szénacél)	
Rugalmassági mod.:	200000 MPa (25°C-on)
Poisson tényező:	0,3
Sűrűség:	7860 kg/m <sup>3</sup> (25°C-on)
Anyagtulajdonságok (tuskó – P14 öntöttvas)	
Rugalmassági mod.:	102310 MPa (25°C-on)
Poisson tényező:	0,25
Sűrűség:	7150 kg/m <sup>3</sup> (25°C-on)

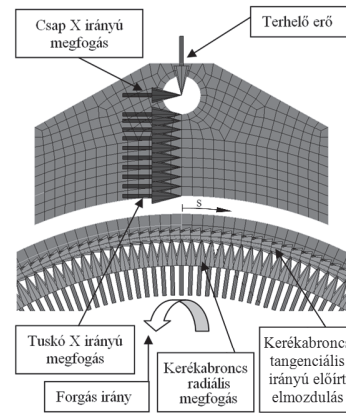
A vizsgálat során két érintkező test között definiált súrlódási tényező értéke  $\mu=0,384$ , amely a hőmérséklet, valamint a forgási sebesség függvényében nem változik, konstans érték.

## 2.3 Peremfeltételek és terhelések

A vizsgálat során a terhelő erő mértéke 500 N volt. Az előírt terhelést – mint Y irányú erőt - egy kontrollpont segítségével közvetlenül a terhelést átadó csapra adtuk rá. A csapot, vízszintes irányú elmozdulás ellen egy X irányú, fix megfogással rögzítettük. A vizsgálat időtartama 280 másodperc volt. A felterhelés a vizsgálati idő első 2 másodpercében történik, ezt követően a terhelés az analízis végéig állandó maradt.

Az abroncs esetében a belső felületen radiális irányú megfogást alkalmaztunk. A tuskó esetében a középső csomópontsört X irányban rögzítettük elmozdulás ellen a statikus felterhelés folyamán a modell stabilizálása érdekében. Ez a megfogás a forgás megindulását követően deaktiválódik.

A második másodperc után a kerék elkezd igen lassan forogni. A forgást az abroncs belső felületén alkalmazott tangenciális irányú megfogások előírt elmozdulása biztosítja. Ezt követően 2. másodperctől a 280. másodpercig lineárisan növekszik a forgási sebesség. Ezzel a vizsgálat végére eléri a  $1,857 \cdot 10^{-3}$  mm/s-ot, amely összesen  $\sim 0,27$  mm elmozdulást, valamint  $2,171 \cdot 10^{-3}$  rad-os elfordulást eredményez a keréken. A peremfeltételek az 3. ábrán láthatóak.



3. ábra. Az alkalmazott peremfeltételek

## 3. A VIZSGÁLAT EREDMÉNYEI

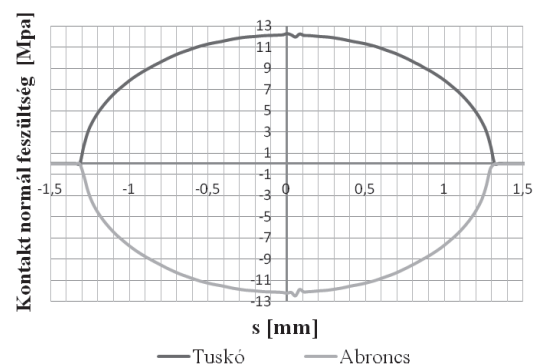
### 3.1 A vizsgálati eredmények 0-2 másodpercig terjedő intervallumban

A statikus felterhelés szakaszában megvizsgáltuk a két érintkező felület között ébredő, Y irányú kontakt normál feszültséget. A feszültség eloszlást a 4. ábra szemlélteti. A vártak megfelelően a feszültség a Hertz elméletnek megfelelő eloszlás szerint alakult. A maximális érintkezési feszültség 12,27 MPa-ra adódott.

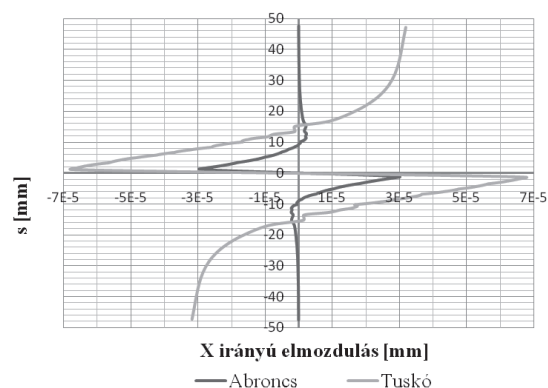
A 5. ábra a tuskó abroncs kapcsolat érintkezési tartományában közelében található csomópontok X irányú elmozdulását szemlélteti. Az ábrából kiolvasható, hogy az érintkezési tartományban mind a tuskó, mind pedig az abroncs csomópontjainak elmozdulása azonos mértékű. A diagramok segítségével könnyen belátható a kezdeti tapadás a két test között.

A 6. ábra a tuskó, valamint a féktuskó Y irányú elmozdulását szemlélteti.

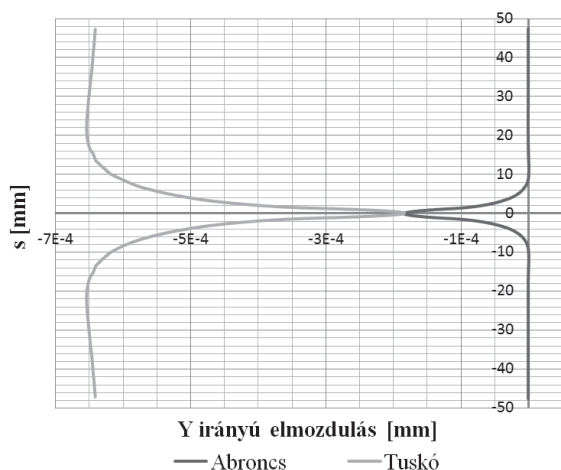
A modell eredményeinek validálása céljából analitikus számításokat végeztünk. Ennek eredményeit a 2. és 3. táblázatok foglalják össze. Az eltérés csupán  $\sim 2,3\%$  az érintkezési feszültség, illetve  $\sim 2\%$  az érintkezési tartomány esetén, így a végeelem modell kellően pontosnak tekinthető.



4. ábra. A kontakt normál feszültség eloszlása az s körív mentén (lásd 3. ábra)



5. ábra. Az érintkezési tartomány környéki csomópontok X irányú elmozdulása



6. ábra. Az érintkezési tartomány környéki csomópontok Y irányú elmozdulása

2. táblázat. Számítások eredményei I.

Abroncs - tuskó érintkezési feszültség (MPa)	
2D VEM vizsgálat	Analitikus számítás
12,27	11,989
Eltérés mértéke:	~2.3 %

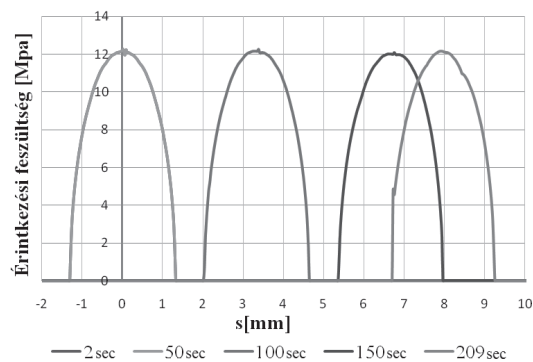
3. táblázat. Számítások eredményei II.

Abroncs - tuskó érintkezési tartomány (mm)	
2D VEM vizsgálat	Analitikus számítás
2,6	2,654
Eltérés mértéke:	~2 %

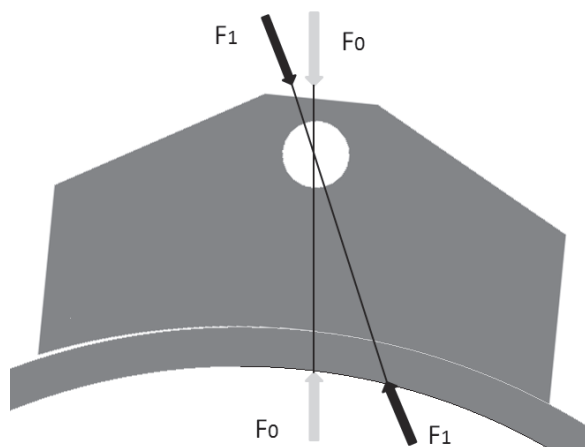
### 3.2. A vizsgálati eredmények a 2-280 másodpercig terjedő intervallumban

A második másodpercet követően az abroncs elkezd forogni. A vizsgálat során a forgás megkezdésétől a megcsúszás pillanatáig 50 másodpercenként, valamint a 209. másodpercben lekérdezésre került a feszültség eloszlás az érintkezési tartományban. Az így kapott görbéket a 7. ábra szemlélteti. Látható, hogy az érintkezési nyomáseloszlás görbék jelentős mértékben eltolódnak a forgásiránnyal ellentétes irányba.

A feszültség maximális értéke közel azonos a felterhelési szakaszban számított értékkel. A 209. másodpercben bekövetkezik a kerék megcsúszása, így az azt követő időtartományban, a nyomáseloszlás már nem tolódik tovább a féktuskóhoz viszonyítva. A 8. ábrán látható a tuskó-abroncs kapcsolat deformált alakja 100x-os nagyításban. Látható, hogy a nagymértékű nyomáseloszlás vándorlás oka a tuskó elfordulása a kezdeti pozícióhoz képest, amelynek hatására a három érintkező test kezdeti erőegyensúlya ( $F_0$ ) az elfordulás mértékének megfelelően elmozdul ( $F_1$ ).



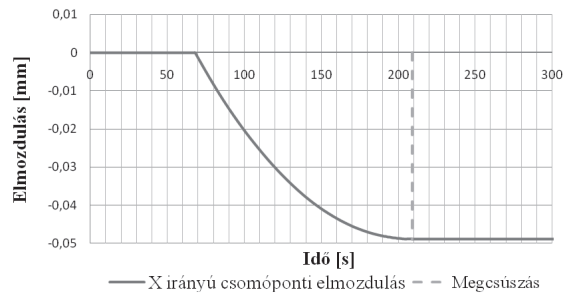
7. ábra. Feszültség eloszlása a forgás megkezdése után



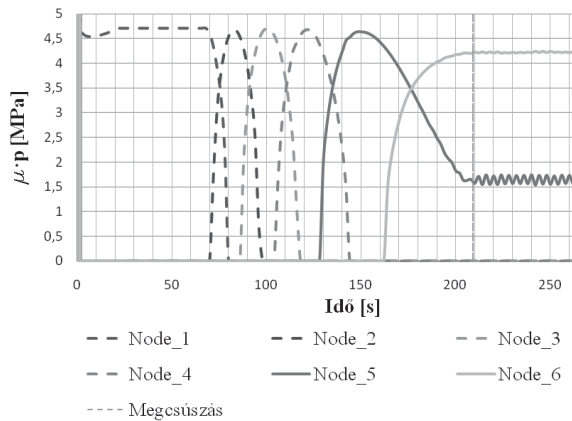
8. ábra. Erőegyensúlyok a deformált alakon

A megcsúszás szemléltetésére lekérdezésre került a tuskó kezdeti érintkezési tartományának közepontjában található csomópont X irányú elmozdulása (9. ábra). A kerék forgásának megindulását követően látható, hogy a csomópont elmozdul, majd a 209. másodperc környezetében, bekövetkezik a tuskó megcsúszása. Ezt követően a csomópont egy helyben marad, az elmozdulás konstans értéket vesz fel.

Az abroncs-tuskó átmérőkülönbségéből adódóan, a kezdetben érintkezésben lévő csomópontok a megcsúszás időpillanatában már az érintkezési tartományon kívül esnek, ezzel egy időben azonban újabb csomópontok lépnek be a kontaktba. Ezt a folyamatot szemlélteti a normális irányú feszültség (10. ábra), valamint a súrlódásból származó, tangenciális irányú feszültség az idő függvényében (11. ábra).



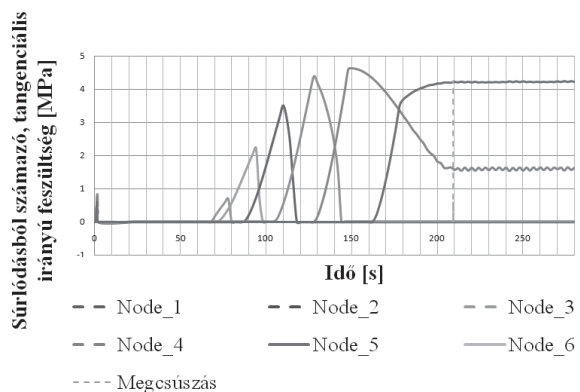
9. ábra. A tuskó kezdeti érintkezési tartományának, középső csomópontjának elmozdulása



10. ábra. A  $\mu \cdot p$  feszültség értékének alakulása az idő függvényében

Az ábrából kiolvasható, hogy az egyes belépő csomópontokban egyre nagyobb feszültség ébred. Azonban ez a feszültség érték még nem elegendő a csúszás megindításához. A megcsúszást követően a súrlódásból származó feszültség értéke konstans értéket vesz fel.

Az imént bemutatott jelenség a  $\mu \cdot p$  feszültségeloszlás esetén is megfigyelhető. Látható, hogy az egyes csomópontok érintkezésbe kerülnek majd az idő múlásával kilépnek a kontaktból. A megcsúszást követően a  $\mu \cdot p$  érték is konstans értéket vesz fel.



11. ábra. A súrlódásból származó, tangenciális irányú feszültség az idő függvényében

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Az eredményekből látható, hogy a megalkotott modell alkalmas a vasúti kerékbroncs-féktuskó kapcsolat súrlódási állapotának vizsgálatára. A kidolgozott modell a megcsúszás kialakulását foglalja össze az MSC.MARC szoftver elmozdulás vezérelt Coulomb súrlódási törvénye szerint. A feladat igényesebb megoldását, amely tartalmazza a stick-slip jelenségének vizsgálatát is a következő időszakban tervezzük kidolgozni.

#### 5. SUMMARY

It can be seen from the results that the this way created model is suitable for the analysis of frictional state of the brake block-wheel connection. The established model involves the formations of slip according to the MSC. Marc software's displacement controlled Coulomb frictional law. In the future we are planning to work out the solution of the task including the examination of the stick-slip phenomenon in a more sophisticated way.

#### 6. 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.

#### 7. IRODALOMJEGYZÉK

[1] K.L. JOHNSON: Contact mechanics, Cambridge University Press, Cambridge, 1984