

VASÚTI SÍN-KERÉKABRONCS KAPCSOLAT SÚRLÓDÁSI ÁLLAPOTÁNAK VÉGESELEMES VIZSGÁLATA

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF FRICTIONAL STATE OF A RAILWAY RAIL-WHEEL CONNECTION

Zwierczyk Péter T., PhD. hallgató

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gép- és Terméktervezés Tanszék, 1111 Bp. Műegyetem rkp. 3
e-mail: z.peter@gt3.bme.hu; web: gt3.bme.hu

Dr. Váradi Károly, egyetemi tanár

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gép- és Terméktervezés Tanszék, 1111 Bp. Műegyetem rkp. 3
e-mail: varadik@eik.bme.hu web: gt3.bme.hu

ABSTRACT. This paper involves the finite element analysis of a starting process of a railway trainset in the aspect of mechanical processes. With the help of the elaborated model the contact pressure distribution and the sliding and sticking zones in the contact zone can be examined.

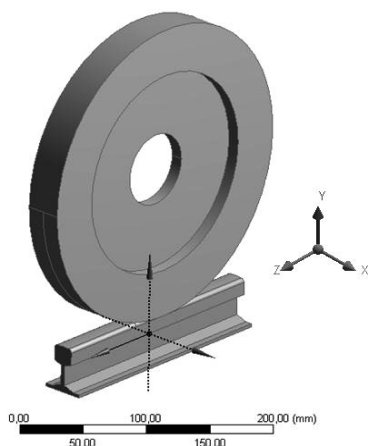
1. BEVEZETÉS

A mai, nagyteljesítményű vasúti vontatás egyik elengedhetetlen feltétele az indulás folyamatában a megfelelő tapadás, ezen túl a megfelelő traktációs erő biztosítása. Ennek egyik feltétele a kapcsolódó elemek közötti csúszás elkerülése.

Az elkészített végeelemes modell segítségével lehetőség nyílt az érintkezési feszültség, valamint az érintkezési tartományon belül megtalálható tapadási, illetve csúszási tartományok feltérképezésére megcsúszás mentes, illetve részleges megcsúszási esetben.

2. GEOMETRIAI MODELL FELÉPÍTÉSE

A vizsgálatok alapjául egy egyszerűsített M1:4 méretarányú geometriai modellt használtunk. A kerékabroncs esetében elhanyagoltuk a nyomkarimát valamint a futófelület kúposágát. A geometria felépítését az 1. ábra mutatja be.



1. ábra. A geometriai modell felépítése

A számítások során egy 125 mm sugarú kereket nyomtunk egy UIC-54-es szabványnak megfelelő [1], - méretarány szerinti - görbületű sínszálhoz.

Tekintettel a geometria YZ síkra szimmetrikus felépítésére a számítások során fél modellt alkalmaztunk a számítási idő csökkentése érdekében.

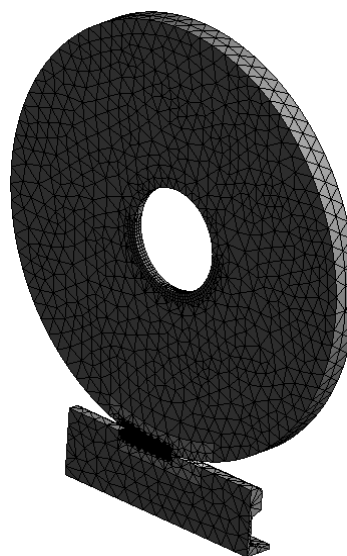
Mind a sín, mind pedig a kerékabroncs esetében azok anyagát általános szerkezeti acélnak tekintettük. A számítások során alkalmazott anyagjellemzőket az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat. Az alkalmazott anyagjellemzők

Anyagjellemző:	Érték:
Rugalmassági modulus	200 GPa
Poisson tényező	0,3

2.1. A végeelem háló felépítése

A hálózás során több szekcióra bontottuk a modellt. Ennek köszönhetően csak a legszükségesebb helyen sűrítettük be a hálót, illetve alkalmaztunk 20 csomópontos hexaéder elemeket. Az érintkezési tartománytól távolabb eső, számítási pontosság szempontjából kevésbé fontos részekben 10 csomópontos tetraéder elemeket alkalmaztunk. A globális elemméret 15 mm volt. Lokálisan az érintkezési tartomány környezetében, a számítási pontosság növelése érdekében 0,35 mm-es elemméretre csökkent. A különböző szegmenseket, valamint a végeelemes hálót a 2. ábra mutatja be.

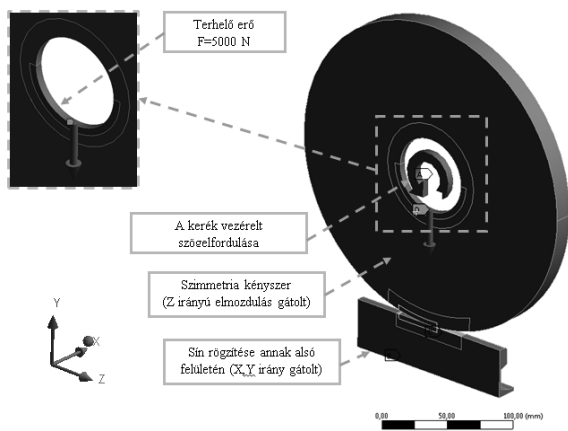


2. ábra. A végeelemes háló felépítése

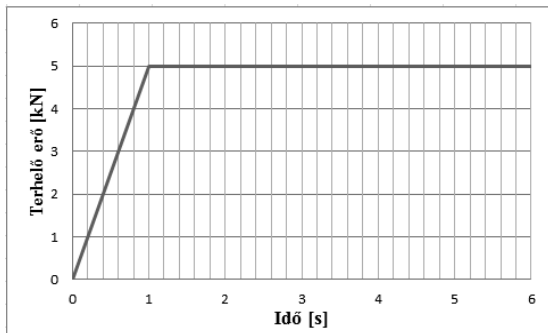
3. A VIZSGÁLAT PEREMFELTÉTELEI

A vizsgálat során alkalmazott peremfeltételeket a 3. ábra szemlélteti. A számítást két időszakaszra bontottuk. Az első, 1. másodpercig terjedő szakaszban történik a modell felterhelése. Ezt követően a 10. másodpercig a terhelő erő aktív marad. A második időszakaszban a kerék is elkezd forogni és a 10. másodpercig összesen $6,24^\circ$ -ot fordul el saját tengelye körül, miközben 7. másodpercig gyorsult (4. és 5. ábrák).

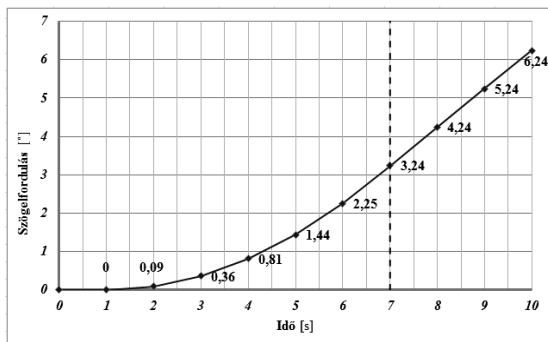
A terhelő erő mértéke összesen 10 kN volt. A fél modell miatt azonban a végeelemes modell összesen 5 kN terhelte a hajtótengely bevezetési pontján. A sín rögzítését annak alsó felületén ráadott, X,Y irányú elmozdulást gátló megfogás biztosította. Az alkalmazott fél modell miatt a 3. ábrán jelölt módon egy szimmetria megfogást is alkalmaztunk. A számítások során a súrlódási tényező értéke konstans érték volt, $\mu=0,384$.



3. ábra. A vizsgálat során alkalmazott peremfeltételek



4. ábra. A modell felterhelési görbéje

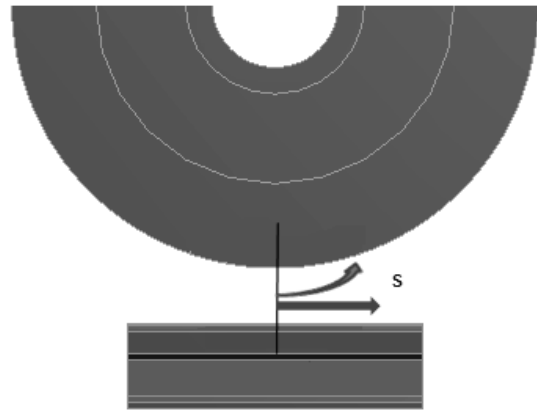


5. ábra. A kerék megforgatási időgörbéje

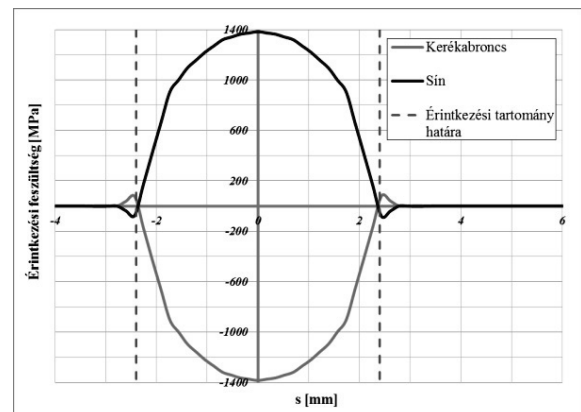
4. EREDMÉNYEK

4.1. I. A felterhelési szakasz eredményei

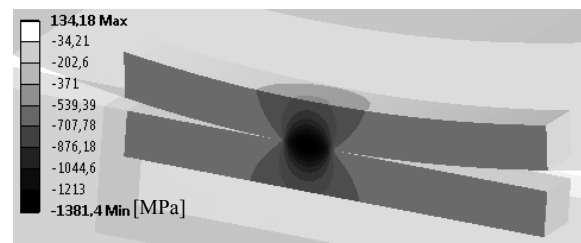
Az első számítási szakaszban, amely a vizsgálat első másodpercéig tart, megtörténik a modell felterhelése. A terhelő erő hatására az érintkezési tartományban 1381,4 MPa érintkezési feszültség ébred, amely az analitikus ellenőrző számításoktól [2] 5%-on belüli eltérést mutat, így a készített végeelemes modell kellően pontosnak tekinthető. A feszültségeloszlását a kontakt zónában a 7. ábra szemlélteti, míg a 8. ábrán grafikusán is látható a sűrített hálóval ellátott segédtesten. A diagramokon jelölt „s” érték az érintkezési tartomány középpontjából induló, mind a sínnel, mind pedig a kerékkel érintőleges koordináta (6. ábra).



6. ábra. Az „s” koordináta értelmezése



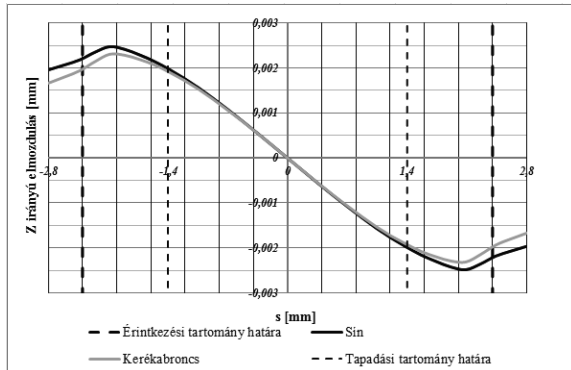
7. ábra. Érintkezési nyomás eloszlása az érintkezési tartományban ($t=1s$)



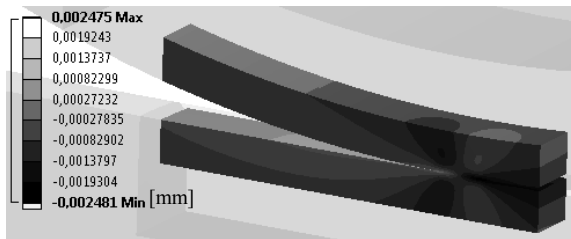
8. ábra. σ_y eloszlás az érintkezési tartomány környezetében ($t=1s$)

Az érintkezési feszültségen kívül a felterhelési szakaszban lehetőség nyílt az érintkezési

tartományon belüli tapadási és csúszási zónák kiterjedésének feltérképezésére. Ennek érdekében lekérdeztük az érintkezési tartomány környezetében a kapcsolódó testek Z irányú elmozdulását. Az elmozdulás görbéket, valamint a grafikus ábrázolást a 9, valamint a 10. ábra mutatja be.

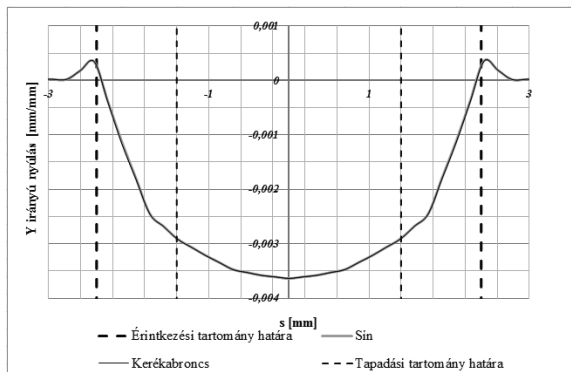


9. ábra. A kapcsolódó testek Z irányú elmozdulása az érintkezési tartomány környezetében ($t=1s$)



10. ábra. A kapcsolódó testek Z irányú elmozdulása az érintkezési tartomány környezetében grafikusán ábrázolva ($t=1s$)

A 9. ábrán jól látható, hogy az érintkezési tartomány két különálló zónára bontható. Egyrésztől beszélhetünk egy tapadási tartományról, amelyen belül a két kapcsolódó alkatrész együtt mozdul el, valamint az érintkezési tartomány szélén elhelyezkedő csúszási zónáról is, ahol ugyan még kapcsolatban áll a két test, azonban elmozdulás görbéik szétválnak [3]. Az elmozdulás mellett megvizsgáltuk a kapcsolódó elemek érintkezési tartomány környezetében jelentkező nyúlását is (Y irány). A kapott eredményeket a 11 ábra szemlélteti.



11. ábra. Az érintkező elemek Y irányú nyúlása ($t=1s$)

Az ábrán látható, hogy a tapadási tartományon belül a nyúlásértékek megegyeznek, míg a csúszási

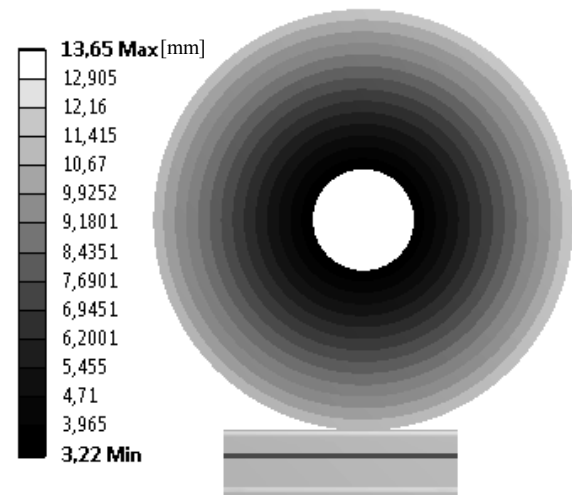
tartomány esetében, ugyan csak kis mértékben, de eltérés mutatkozik az értékek között.

4.2. II. A kezdeti gördülési szakasz eredményei

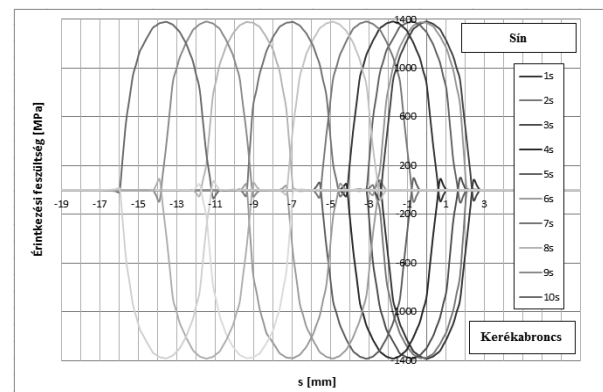
A második számítási szakaszban aktívá válik a kerék szögelfordulását vezérlő kényszer, amely forgómozgás hatására a sín is elmozdul. Az elmozdulás mértékét a 12. ábra mutatja be.

Az ábrán látható, hogy a sín lineáris elmozdulása, valamint a kerék kerületi elmozdulása megegyezik (mindösszesen 13,65 mm a kerület mentén), amely alátámasztja a két kapcsolódó elem gördülőkapsolatát.

A gördülés hatására az érintkezési tartomány is elvándorol. Ha megvizsgáljuk az így kapott érintkezési görbéket, jól látható, hogy azok Hertz jellege megmaradt, a kisebb torzulásoktól eltekintve, valamint a maximális feszültség értéke is a korábbi 1381 MPa-os érték környezetében maradt. Az érintkezési tartomány vándorlását, az egyes másodpercekben a feszültségérték eloszlását a 13. ábra mutatja be.



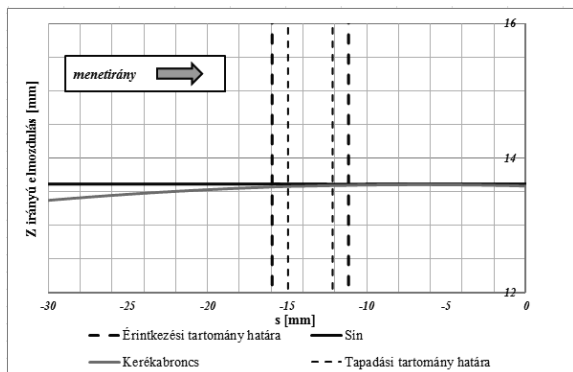
12. ábra. A kerék egyenértékű elmozdulása



13. ábra. Az érintkezési tartomány vándorlása az érintkezési nyomáseloszlás vándorlásán szemléltetve

Gördülés esetén a kezdeti tapadási zóna kiterjedése az érintkezési tartomány elvándorlásával sem változik. Ennek ellenőrzése céljából megvizsgáltuk a korábban szemléltetett, kapcsolódó elemek Z irányú

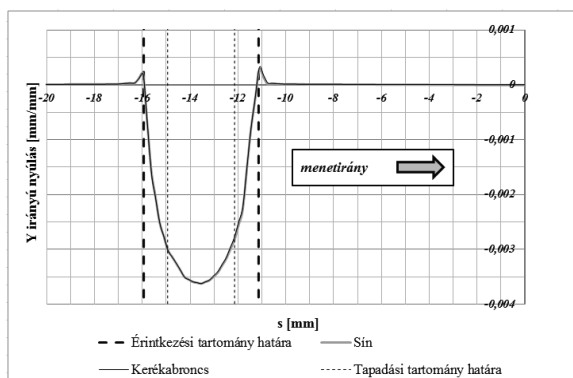
elmozdulását a vizsgálat utolsó, 10. másodpercében. A kapott eredményeket a 14. ábra szemlélteti.



14. ábra. A kapcsolódó elemek Z irányú elmozdulása az érintkezési tartomány környezetében a vizsgálat utolsó, 10. másodpercében

A fenti ábrán látható, akárcsak a kiinduló felterhelt állapotban a tapadási tartományon belül a két test elmozdulás görbéi együtt futnak, míg a csúszási zónában kismértékben ugyan, de kettéválnak.

Hasonló trend figyelhető meg a nyúlás görbék esetében is. A 15. ábra szemlélteti a vizsgálat utolsó másodpercében az Y irányú nyúlás értékét.



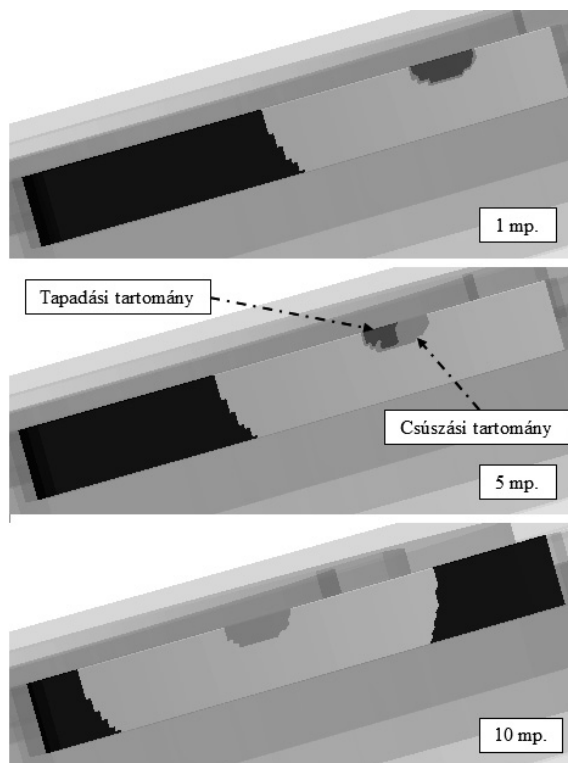
15. ábra. Az érintkező elemek Y irányú nyúlása a vizsgálat utolsó, 10. másodpercében

4.3. 1%-os relatív sebességkülönbség hatása a súrlódási állapotra

Számításaink során megvizsgáltuk, hogy 1 %-os relatív sebességkülönbség milyen hatással van a két kapcsolódó elem érintkezésére.

Az 1%-os sebességkülönbséget a kerék szögelfordulásával, valamint a sín alsó felületén előírt Z irányú elmozdulással állítottuk elő egy további peremfeltétellel, oly módon, hogy sebességkülönbségük pontosan ezt az 1 %-ot adja. A 16. ábrán látható a sebességkülönbség hatása a kerék futófelületén ábrázolva. Már a vizsgálat 5. másodpercében az érintkezési tartományon belüli tapadási zóna a felére csökkent, majd a 10 másodpercben már a teljes érintkezési keresztmetszet csúszik.

Megállapítható, hogy az indulási szakaszban igen rövid ideig tart a tapadási-súrlódási viselkedés már 1%-os relatív sebességkülönbség esetén is.



17. ábra. A részleges és teljes csúszás hatása az érintkezésben lévő testekre

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP-4.2.2.B-10/1--2010-0009 program támogatja.

6. IRODALOM

- [1] Muttányánszky Á.: *Szilárdságtan*. Budapest, Műszaki Könyvkiadó 1981.
- [2] Kazinczy L.: A kerék-sín között fellépő Hertz-féle érintkezési feszültség vizsgálata közúti vasúti felépítmények esetében, Műszaki Szemle 9-10, 12-16. 2000.
- [3] K.L. Johnson: *Contact mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1984.