

GÖRDÜLÉSI ELLENÁLLÁS HATÁSÁNAK MODELLEZÉSE DISZKRÉT ELEMEL MÓDSZERÉVEL

DISCRETE ELEMENT MODELING OF WHEEL ROLLING RESISTANCE

Bablana Adrienn

NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, H-2100 Magyarország, Gödöllő, Tessedik
Sámuel utca 4.; Tel.: +36 28 511 689; E-mail: bablena.adrienn@gmgi.hu

Abstract

In discrete element modeling variation of horizontal and vertical forces and the moment of rolling resistance were examined at the beginning of pure rolling and steady-state condition. Breaking force and the moment of rolling friction have maximum values at the start of rolling which are significantly greater than steady-state values. Ratio of horizontal and vertical forces is around 0,25 in a wide range of micromechanical parameters.

Keywords: modeling, discrete element method, rolling resistance.

Összefoglalás

A talaj-kerék kapcsolat diszkrét elemes modellezése során megvizsgáltuk a kerékre ható vízszintes és függőleges irányú fékezőerők, valamint a gördülési ellenállás nyomatékának változását a csúszásmentes gördülés kezdetén, valamint állandósult állapot esetén. Mind a fékezőerő, mind a gördülési ellenállás nyomatéka egy, az állandósult állapotnál jelentősen nagyobb indítási maximummal rendelkezik. A vízszintes és függőleges irányban keletkező fékezőerő aránya a mikromechanikai paraméterek széles tartományában 0,25 körüli értéken állandósul.

Kulcsszavak: modellezés, diszkrét elemek módszere, gördülési ellenállás.

1. Bevezetés

Talajon mozgó járművek esetében a talaj és a kerék közötti kapcsolat mechanikai modellezése rendkívül bonyolult feladat. Mind a talaj, mind a deformálható kerék önmagában is olyan bonyolultságú mechanikai rendszer, melyek összetettsége a gyakorlat számára kielégítő pontosságú mechanikai modellek létrehozását jelentősen megnehezíti.

Az 1900-as évek elején Bernstein [3] foglalkozott a gördülési ellenállás meghatározásával. Bekker [2] szerint az általa megfogalmazott következtetések nehezen általánosíthatók, mivel hiányoznak belőlük a talaj feszültségi és alakváltozási állapotával kapcsolatos információk.

Merev kerék „talajon” történő mozgását befolyásoló gördülési ellenállást elméletben kizárólag az érintkező felületek között kialakuló feszültségi és deformációs állapot határozza meg [2].

Sitkei [8] kísérleti és analitikus talaj-kerék modelljében elsősorban a talaj alakváltozási és tönkremeneteli tulajdonságai határozzák meg a talaj-kerék kapcsolat során kialakuló erőket.

A talaj-gumiabroncs kapcsolat numerikus modellezésére a végeelem módszer a legelterjedtebb, mely lehetővé teszi anyagi és geometriai nemlinearitás és ortotrop anyagmodell feltételezésével a deformálható kerékmodell elkészítését. A talaj modellezése, a nagy alakváltozások és a talaj elnyíródásának problémája nehezen megoldható, mivel végeelem módszer segítségével a talajt csak kontinuumként lehet kezelni [4] [9].

Az utóbbi időszakban elterjedt diszkrét elemes módszer (DEM) lehetővé teszi a deformálható talajmodell létrehozását, azonban ezzel a módszerrel a deformálható kerék nehezen modellezhető [6] [7].

2. Anyag és módszer

Ebben a munkában a talaj által kifejtett, a kereket fékező gördülési ellenállás numerikus modellezésének lehetőségeit kívánom megvizsgálni. A fent bemutatott két lehetséges módszer közül a diszkrét elemek módszerét alkalmazom.

2.1. Diszkrét elemek módszere

A diszkrét elemek módszere egy numerikus módszer, mely kifejezetten szemcsés anyagok vizsgálatára jött létre a 70-es években. Minden diszkrét elemes modell különálló elemekből és az elemek érintkezésével létrejövő kapcsolatokból áll. Egy eljárást akkor nevezhetünk diszkrét elemes modellnek, ha [1]:

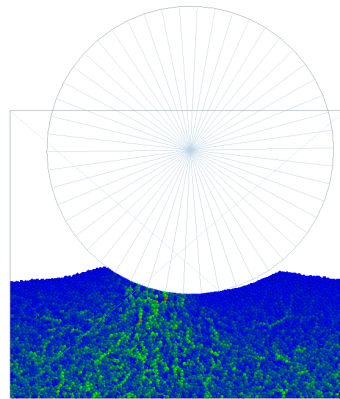
- egymástól egyértelműen elkülönülő elemekből épül fel;
- az elemek önálló elmozdulási szabadságfokokkal rendelkeznek oly módon, hogy a modell képes követni az elemek véges nagyságú eltolódásait és deformációit;

- az elemek között új kapcsolatok jöhetnek létre és meglévő kapcsolatok szűnhetnek meg.

A diszkrét elemes módszer működésének alapja az, hogy a halmaz mechanikai viselkedését a halmazt alkotó egyes szemcsék mozgásállapotának nyomon követésével modellezi. A módszer alkalmazása során az egymással, a falakkal és a kerékkel kölcsönhatásba lépő egyes szemcsékre kell a lendület- és a perdülettel alapján felírt differenciálegyenleteket numerikusan megoldani.

2.2. Talaj-kerék kapcsolat diszkrét elemes modellje

A talaj-kerék kapcsolat diszkrét elemes modelljében egy 150 mm átmérőjű, 40 mm szélességű merev korongot használtunk kerékként. A szemcséket egy 350x300x40 méretű téglatest alakú tartományban helyeztük el, a tartományt a szimuláció első lépéseként véletlenszerűen kitöltöttük 1,6 és 2 mm között véletlenszerűen változó sugarú gömbökkel, melyek gravitációs ülepedés után körülbelül 1/3 magasságig feltöltötték a vizsgálati tartományt (1. ábra). A szimulációhoz „Hertz-Mindlin with bonding” modellt alkalmaztunk.



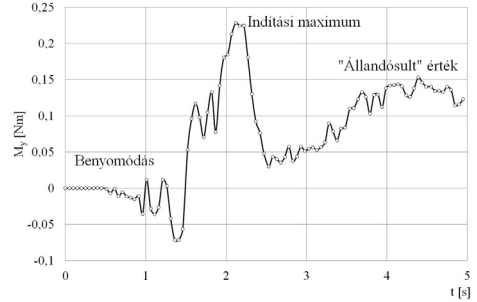
1. ábra. Talaj-kerék kapcsolat diszkrét elemes modellje

A modellezés során használt mikromechanikai paraméterek az alábbiak [5]:

- Poisson tényező: 0,25 (talaj), 0,45 (kerék);
- nyírási modulus: $1e7 Pa$ (talaj), $1e6 Pa$ (kerék);
- sűrűség: $3000 kg/m^3$ (talaj), $910 kg/m^3$ (kerék);
- normál merevség: $1e9 N/m$;
- nyíró merevség: $1e9 N/m$;
- kritikus normál feszültség: $1e5 Pa$;
- kritikus nyírófeszültség: $5e4 Pa$;
- kötési sugár: $6 mm$;
- ütközési tényező: 0,5 (talaj-talaj, talaj-kerék);
- súrlódási tényező: 0,5 (talaj-talaj), 0,8 (talaj-kerék);
- gördülési ellenállási tényező: 0,01 (talaj-talaj), 0,05 (talaj-kerék).

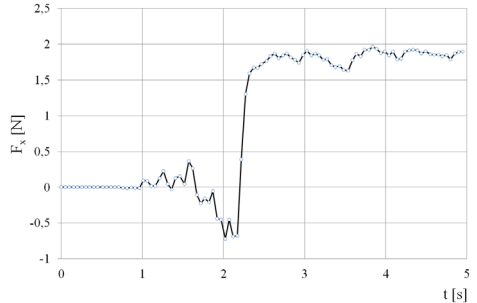
A 2. ábrán egy szimulációból kapott kerékre ható, a kerék síkjára merőleges tengelyre számított gördülési ellenállási nyomaték értékét láthatjuk. A diagram három fő szakaszra bontható: a benyomódási szakaszban a kereket függőleges irányban a talaj felszínére helyezük. A függőlegesen lefelé mozgó kerékre ható nyomaték a kezdeti szakaszban jelentős hullámzást mutat, majd a talajfelszín kezdeti (az egyes szimulációk során véletlenszerűen kialakuló) alakjától függően valamilyen pozitív vagy negatív értéket vesz fel. Ezután a kereket tiszta gördülő mozgásba hozzuk. A kerék mozgását a talajszemcsék a 2. ábrán látható módon akadályozzák. Ez a fékező hatás a kerékre ható nagyszámú koncentrált erő formájában jelentkezik, amely kapcsolati erőhálózat az 1. ábrán látható. Ezek a koncentrált erők fékezőnyomatékot is kifejtenek a forgó, tisztán gördülő mozgást végző korongra. Láthatjuk a 2. ábrán, hogy ez a fékezőnyomaték a kerék indítását követően felvesz egy maximális értéket,

amely később csökkenni kezd, majd egy minimum után újra növekedésnek indul.



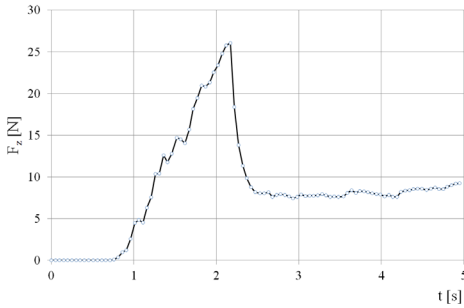
2. ábra. A gördülési ellenállás nyomatéka

Ez a növekedés azonban a továbbiakban már nem éri el a kezdeti maximális értéket, hanem egy annál kisebb értéken állandósul. Ezt az állandósult értéket tekinthetjük a gördülési ellenállás nyomatékának. A gyakorlat számára fontos lehet annak ismerete, hogy a talajon mozgó járművek indítási nyomatékigénye milyen mértékben haladja meg a későbbi haladó mozgás során fellépő gördülési ellenállás leküzdéséhez szükséges nyomaték értékét.



3. ábra. A mozgás irányában keletkező erő

A 3. és 4. ábrán a kerékre ható függőleges és vízszintes erőket láthatjuk. Ezek a diagramok is megjelenik az indítás előtti benyomódásból származó változás.



4. ábra. Függőleges irányú erő

Itt is megjelenik az indítás pillanatához tartozó csúcserték, majd a gyors csökkenés az állandósult állapothoz tartozó értékre.

Megvizsgáltuk a kohezív kötések számának alakulását is. Azt tapasztaltuk, hogy az eddig vizsgált tiszta gördülés során a kohezív kötések száma nem változik.

Megvizsgáltuk az F_x/F_z érték változását a mikromechanikai paraméterek függvényében. Több szimulációt is elvégezve arra az eredményre jutottunk, hogy ez az érték a mikromechanikai paraméterek széles tartományában 0,25 körüli értéket vesz fel.

3. Következtetések

A diszkrét elemes módszer (az analitikus eljárásokkal szemben) alkalmas az időben változó kölcsönhatási folyamatok modellezésére is. Így lehetőség nyílik ezen kölcsönhatási folyamatok dinamikusan változó pillanatnyi értékeinek elemzésére.

A tiszta gördülés során a szimulációban kialakult kohezív kötések száma nem változik.

Az F_x/F_z viszony a mikromechanikai paraméterek széles tartományában 0,25 érték körül állandósul.

4. További feladatok

Célom egy jól használható numerikus talaj-kerék kapcsolati modell létrehozása merev kerék – deformálható talaj, valamint deformálható kerék – merev talaj kapcsolat

modellezésére. A továbbiakban egyrészt létre kell hoznom egy jól kalibrált talajmodellt. El kell végezni az előbbieken bemutatott erő és nyomaték értékek érzékenységvizsgálatát a mikromechanikai paraméterekre, majd faktoriális kísérlet felhasználásával kiválasztani azokat a mikromechanikai jellemzőket, amelyek leginkább hatással vannak a vizsgált kölcsönhatási folyamatra.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bagi, K.: *Diszkrét elemek módszere*, Budapesti Műszaki Egyetem egyetemi jegyzet, Budapest, 2007. 73.
- [2] Bekker, M. G.: *Theory of land locomotion*, University of Michigan Press, Michigan, 1956. 520.
- [3] Bernstein, R.: *Probleme zur experimentellen motorflugmechanik*, Der Motorwagen, Vol. 16, No. 1, 1913. 199-227.
- [4] Fervers, C. W.: *Improved FEM simulation model for tire-soil interaction*, Journal of Terramechanics Vol. 41, No. 2-3, 2004. 87-100.
- [5] Keppler, I., Hudoba, Z., Oldal, I., Csatar, A., Fenyvesi, L.: *Discrete element modeling of vibrating tillage tools*, Engineering Computations, Megjelenés alatt, 2015.
- [6] Knuth, M. A., és mások: *Discrete element modeling of a Mars Exploration Rover wheel in granular material*, Journal of Terramechanics Vol. 49, No. 1, 2012. 27-36.
- [7] Nakashima, H., és mások: *Parametric analysis of lugged wheel performance for a lunar microrover by means of DEM*, Journal of Terramechanics Vol. 44, No. 2, 2007. 153-162.
- [8] Sitkei, Gy.: *A talaj-kerék kapcsolat néhány elméleti kérdése*, Székfoglalók a Magyar Tudományos Akadémián, Budapest, 1998. 1-16.
- [9] Xia, K.: *Finite element modeling of tire/terrain interaction: Application to predicting soil compaction and tire mobility*, Journal of Terramechanics Vol. 48, No. 2, 2011. 113-123.