

Kiss Zsolt Péter, Kassai Zsolt, Sente Márk

A gumiabroncsok fáradásos bordatörés-vizsgálati lehetőségeinek meghatározása laboratóriumi körülmények között

A bordák kifáradásos törése a mezőgazdasági gumiabroncsok egyik jellemző meghibásodása. Az ilyen jellegű sérülések okainak feltárásában nagy nehézséget jelent, hogy a bordatörések elkerülése érdekében elvégzett tervezői és gyártási módosítások hatásának ellenőrzése csak igen hosszadalmas és költséges vizsgálati módszerrel (tartós üzemi teszttel) lehetséges. A tanulmány célja egyrészt egy olyan vizsgálati módszer kidolgozása, amelynek segítségével laboratóriumi körülmények között reprodukálható módon előidézhető a fáradásos bordatörés, valamint kifejlesztettünk egy olyan berendezést, amelynek segítségével lehetővé válik az ilyen jellegű meghibásodások laboratóriumi körülmények közötti, gyors és reprodukálható módon történő vizsgálata.

Kulcsszavak: gumiabroncs, kifáradásos vizsgálat, bordatörés

1. Előzmények, a téma célkitűzése

A mezőgazdasági gumiabroncsok egyik jellemző meghibásodása a bordatörés, a bordatörés (1. ábra). Az ábrán látható jelenség a borda részeinek, illetve egészének letörésével és ezáltal a gumiabroncs tönkremenetelével jár, ami alkalmatlanná teszi mind a közúti közlekedésben való biztonságos részvételre, mind a gyakorlati munkavégzésre. Bekövetkezte esetén csökken a vonóerő, megnő a szlip és kiegyensúlyozatlanná válik az erőgép egyenes futása, valamint romlanak a különböző munkavégzési minőségi mutatók (például az egyenletesség).

Az ilyen jellegű meghibásodások gyakoriságának csökkentése, illetve a bordák élettartamának növelése érdekében a gumiabroncs gyártója folyamatosan fejleszti a gyártás technológiáját, illetve az alkalmazott anyagösszetételt. Ugyanakkor nehézséget jelent az, hogy az ilyen módon elvégzett módosítások hatásának ellenőrzését jelenleg csak hosszadalmas és költséges vizsgálati módszerrel (úgynevezett tartós üzemi teszttel) végzik. Ezért szükségessé vált egy olyan vizsgálati módszer kidolgozása, amelynek segítségével az ilyen jellegű meghibásodások laboratóriumi körülmények között, gyorsan és reprodukálható módon előidézhetőek.

Ennek megfelelően a tanulmány célja egy olyan vizsgálati módszer kidolgozása, amelynek segítségével reprodukálható módon előidézhető az előzőekben ismertetett fáradásos bordatöréses meghibásodás. További célja a tanulmánynak egy olyan vizsgáló berendezés kifejlesztése és elkészítése, amelynek segítségével végrehajthatók az ilyen jellegű vizsgálatok.



1. ábra

A fáradásos törés helye az abroncson [a szerzők]

2. A gumiabroncsok fáradásosbordatörés-vizsgálati modelljének kidolgozása

A szakirodalom áttanulmányozása során megállapítottuk, hogy jelenleg nincs olyan vizsgálati módszer, amely alkalmas lenne a gumiabroncsok laboratóriumi körülmények között elvégezhető bordatörés-vizsgálatára. A bordatörés-vizsgálatok úgynevezett tartós üzemi, tehát rendszeres üzemi körülmények között elvégzett, hosszú ideig tartó vizsgálatokkal történnek. Ennek a módszernek a hátránya, hogy egy-egy vizsgálat ideje az egyéves időtartamot is meghaladja.

Ezt követően áttekintettük, hogy a korábbi évtizedekben végzett gumiabroncs-vizsgálataink tapasztalatai alapján milyen módszer lenne alkalmas a fáradásosbordatörés-vizsgálat meggyorsítására, laboratóriumi vizsgálatra.

Lehetséges változatként a következő módszereket vizsgáltuk meg:

- a) a NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet meglévő, kör alakú fásasztópályájának átalakítása úgy, hogy a vizsgálati pálya felületét érdesítjük és megváltoztatjuk oly módon, hogy azzal elérhető legyen a kívánt cél;
- b) a NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet meglévő, fásasztódobos vizsgálóberendezésének átalakításával azt befogókészülékben rögzítjük, majd a kerületi erő irányával megegyező irányú erővel ciklikusan terheljük;
- c) a vizsgálandó abroncsbordát az abroncsból kivágva speciális berendezésben a kerületi erő irányával megegyező ciklikus erővel terheljük.

Az egyes lehetőségeket megvizsgálva a következő következtetésekre jutottunk:

a) A kör alakú fásasztópálya (2. ábra) lehetséges átalakítása és felhasználása a vizsgálatokhoz: a fásasztópályának a céloknak megfelelő átalakítása során a szóba jöhető megoldás az útfelület érdesítése annak érdekében, hogy megfelelő hajlítóerő jöhesse létre a borda deformálásához. A meglévő fásasztókocsra szereljük a vizsgálandó abroncsot, majd a kocsit az előre meghatározott függőleges terhelés és kerékcúszás mellett vontatva tudjuk létrehozni a kívánt bordaterhelést.



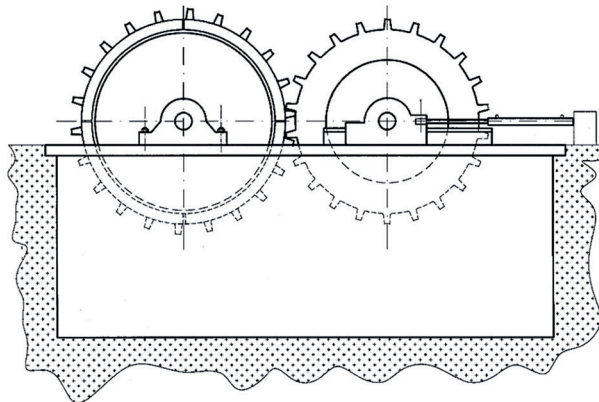
2. ábra
A fásztópálya [a szerzők]

A módszer *előnye*, hogy egyszerre történik a gumiabroncson található összes borda fásztóvizsgálata – egy vizsgálati ciklus során (például meghatározott időtartam, illetve futásteljesítmény után) kb. 30–40 alkalommal történik meg az éppen aktuális állapot szemrevételezéssel és mérésekkel való vizsgálata és az eredmények rögzítése. *Hátránya* a módszernek, hogy nem mérhető pontosan az egy-egy bordára eső kerületi irányú erőterhelés. A borda terhelésének nagysága és iránya a fásztópálya útfelületének inhomogenitása miatt térben és időben változó. Ezért a módszer validálása nem megoldható, összehasonlító vizsgálatokra nem alkalmas.

b) A meglévő fásztódobos vizsgálóberendezés (3. ábra) alkalmazása esetén a fásztódob felületén utólagosan elhelyezett „kapaszkodó körmeik” biztosítanak a megfelelő bordaterhelés létrehozását (4. ábra).



3. ábra
A jelenlegi fásztódob [a szerzők]



4. ábra
A fásztódob „kapaszkodó körmeinek” és a gumiabroncs bordáinak összekapcsolódása [a szerzők]

A fásasztódobra az előre meghatározott erővel leszorított gumiabroncsot, illetve annak bordáit a dob forgatásával lehet terhelni. A vizsgált gumiabroncs bordái a „kapaszkodó körmökbe” kapcsolódnak, így történik a terhelésük. A módszer *előnye*, hogy egyszerre történik a gumiabroncson található összes borda fásasztóvizsgálata – egy vizsgálati ciklus során (például meghatározott időtartam, illetve fordulat [terhelés] után) kb. 30–40 alkalommal történik meg az éppen aktuális állapot szemrevételezéssel és mérésekkel való vizsgálata és az eredmények rögzítése. A módszer *hátránya*, hogy nem mérhető pontosan az egy-egy bordára eső kerületi irányú erőterhelés. A borda terhelésének nagysága a bordafelületnek a dobfelületen történő változó nagyságú csúszása miatt térben és időben változó. Minden egyes gumiabroncsmérethez újra kell állítani a bordaosztásnak megfelelő „kapaszkodó köröm” osztást, ami az adott kerületen nem minden esetben valósítható meg – gyakori dobcsere (új dobok gyártása). A módszer validálása nem megoldható, összehasonlító vizsgálatokra nem alkalmas.

c) A gumiabroncsborda befogókészülékben történő vizsgálatához a gumiabroncsból ki kell vágni a vizsgálandó bordát, majd rögzíteni kell azt a készülékben. Ezt követően a bordán létrehozható olyan erőhatás, amely hajlító igénybevételnek teszi ki a bordatövet. Ciklikusan alkalmazva ezt az erőhatást modellezhető a kifáradásos törés. A módszer *előnye*, hogy pontosan beállítható és ellenőrizhető a borda terhelése. A terhelési ciklus fokozatmentesen megválasztható. A módszer validálása várhatóan megvalósítható. A módszer *hátránya*, hogy a borda kivágása és készülékben történő merev rögzítése miatt a borda igénybevétele a valóságostól eltér. A valóságban ugyanis a borda rugalmasan kötődik a gumiabroncs vázszerkezetéhez. Ennek megfelelően a módszer nem képes megfelelően biztosítani a tényleges üzemi körülményeket.

d) A vizsgálandó borda kerületierő-irányú ciklikus terhelését tehát az abroncson kell megoldani úgy, hogy nem vágjuk ki, és nem rögzítjük befogókészülékben a bordát, hanem magát a gumiabroncsot rögzítjük adott helyzetben. A fixen befogott és megfelelő függőleges erővel terhelt abroncsnak a függőleges terhelést felvevő bordáját terheljük majd a kerületi erő által. A módszer *előnye*, hogy pontosan beállítható és ellenőrizhető a borda terhelése. A terhelési ciklus fokozatmentesen megválasztható. Ugyancsak pontosan beállíthatók és programszerűen módosíthatók a vizsgálati körülmények (az abroncs belső nyomása, környezeti hőmérséklet, az erőhatás iránya stb.). A bordának a gumiabroncson történő terhelése miatt a fellépő borda-igénybevétel megfelelően megközelíti a tényleges üzemi körülményekből származó igénybevételt. A módszer validálása megvalósítható. A módszer *hátránya*, hogy egy időben „csak” egy borda fásasztása történik.

A fáradásos bordatörés vizsgálati idejének meggyorsítására, illetve a laboratóriumi vizsgálat megvalósíthatóságára kidolgozott négy javaslat közül az előzőekben felsorolt értékelés alapján a d) módszer továbbfejlesztett változatát, azaz a bordának a gumiabroncson történő, a gumiabroncs befogásával végzett vizsgálati modelljét választottuk.

3. A kiválasztott vizsgálati módszer megvalósítása

A kiválasztott vizsgálati módszer megvalósításához vizsgáloberendezést alakítottunk ki. A berendezés kialakításához először meghatároztuk a vizsgálat követelményrendszerét, azokat a vizsgálati paramétereket, amelyek hatással vannak a berendezés szerkezetére, műszaki paramétereire.

3.1. A mérendő és rögzítendő paraméterek

A megbízóval történt egyeztetés után meghatároztuk azokat a paramétereket, amelyeket a vizsgálat során mérni, illetve rögzíteni kell, illetve amelyek behatárolják a kifejlesztendő vizsgálóberendezés konstrukcióját [5].

A mérendő és rögzítendő paraméterek a következők:

- x irányú (vízszintes) erő a bordán (F_x);
- z irányú (függőleges) erő az abroncsra (F_z);
- x irányú elmozdulás a vizsgált borda hátoldalán;
- a felületi hőmérséklet mérése a bordatöbén;
- külső hőmérséklet;
- a gumiabroncs belső nyomása;
- a bordák felületének képe a bordatöbén egy minimum 20 pixel/mm felbontású kamerával rögzítve (csak nyugalmi állapotban, azaz megállásként rögzítendő);
- a mérésekhez tartozó időpont (szinkronizálás);
- a terhelés, azaz a vízszintes irányú erő frekvenciája.

Példaként a 14,9 R38 méretű gumiabroncsra vonatkozó vizsgálati paramétereket az alábbi, 1. táblázatban foglaltuk össze. Figyelembe véve a vizsgálatba bevonható legnagyobb méretű abroncsok terhelési viszonyait, a berendezéssel a következő nagyságú maximális függőleges és vízszintes irányú erőket kell tudni majd kifejteni:

- Max $F_x = 12\ 000\ \text{N}$ (egy bordára ható vízszintes erő);
- Max $F_z = 70\ 000\ \text{N}$ (az abroncs függőleges irányú teljes terhelése).

A vízszintes erő meghatározása a μ segítségével történt ($\mu =$ függőleges/vízszintes erőkomponens). A vízszintes (F_x) erő esetén 1 bordát terhelő értéket vettünk figyelembe, míg a függőleges (F_z) erő esetén a talajnyomatba eső bordák számával osztottuk az (F_z) erő nagyságát. A függőleges és vízszintes irányú erők a 0 és a max. értékek között fokozatmentesen, bármely értékre beállíthatók. Az 1. táblázatban található egyéb jellemzők (frekvencia, ciklusszám stb.) a nagyobb terhelés, illetve más abroncsméret esetén is változatlanok.

1. táblázat
A gyárral egyeztetett vizsgálati paraméterek [a szerzők]

MÉRET	14,9 R 38 P8 TA				
	Kísérleti beállítások 1	Kísérleti beállítások 2	Kísérleti beállítások 3	Kísérleti beállítások 4	Kísérleti beállítások 5
Belső nyomás [bar]	2	2	2	2	2
Feltöltve	víz (75%)	víz (75%)	víz (75%)	víz (75%)	víz (75%)
Terhelés (Z) [kg]	3090	3090	3090	3090	3090
Erő (Z) [N]	30 313	30 313	30 313	30 313	30 313
μ max.	1	1	1	1	1
μ min.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Erő max. (X) [N]	30 313	15 156	30 313	15 156	30 313

MÉRET	14,9 R 38 P8 TA				
	Kísérleti beállítások 1	Kísérleti beállítások 2	Kísérleti beállítások 3	Kísérleti beállítások 4	Kísérleti beállítások 5
Erő min. (X) [N]	15 156	15 156	15 156	15 156	15 156
Erő max. (X) [N] / borda	5052	2526	5052	2526	5052
Erő min. (X) [N] / borda	2526	2526	2526	2526	2526
Pánt [°]	13	13	13	13	13
Fárasztási idő [h]	300	300	300	300	300
A ciklusok száma min.	700 000	1 080 000	1 080 000	700 000	2 160 000
A ciklusok száma max.	2 160 000	2 160 000	2 160 000	2 160 000	2 160 000
Ciklus / h	2 333	3 600	3 600	2 333	7 200
Frekvencia [Hz]	0,65	1,00	1,00	0,65	2,00
Idő a két deformáció között [s]	1,54	1,00	1,00	1,54	0,50

A vízfeltöltés célja a gyakorlatban is alkalmazott eljárás modellezése és vizsgálata, amelyet a nagy nyomatékigényű munkavégzés közben (például az adhézió növelése érdekében) használnak. Ez alapvetően a tengelyterhelés megtartása mellett növeli a bordák terhelését, így lehetővé teszi a nagyobb nyomaték kifejtését. Ezen beállítás nem vonható össze a későbbiekben szerepeltetett függőleges erő növelésével, mert a vízfeltöltés nemcsak a borda terhelését, hanem az abroncsváz merevségét is megváltoztatja.

3.2. A kialakított vizsgálóberendezés

A kísérleti berendezést a 2. pontban meghatározott vizsgálati módszernek és a 3.1. pontban feltüntetett vizsgálati paramétereknek megfelelő módon alakítottuk ki. A tervezés és a gyakorlati kialakítás során segítségünkre szolgált a korábban a mezőgazdasági abroncsmodell és a talaj kontaktnyomásának mérésére megalkotott Danhauser hidraulikus mérőrendszerünk [2], [4]. A mérőberendezés alkalmas a különböző méretű mezőgazdasági gumiabroncsok egy bordájának tartós üzemi fárasztóvizsgálatára, valamint a mért és a folyamatosan rögzített paraméterek révén a megrendelő által a vizsgált gumiabroncs kiválasztott jellemzőinek a meghatározására.

A berendezés (5. ábra) több egységből épül fel:

- a gumiabroncs tartószerkezete;
- a vízszintes mérőkocsi és tartószerkezete;
- a hidraulikus működtetőelemek;
- a hidraulikus tápegység.



5. ábra

Az elkészült vizsgálóberendezés [a szerzők]

A gumiabroncs tartószerkezete (6. ábra) függőleges elhelyezésű és függőleges irányú elmozdulást lehetővé tevő tartóegység. A tartóegységet a talajra csavarkötéssel rögzítettük, amelyben a gumiabroncsot tartó tengely függőleges irányban állítható. A vázszerkezetben a függőleges irányú elmozdulást kocsiszerkezet biztosítja. A kocsiszerkezet magába foglalja a gumiabroncs tengelyét, a tengelyirányú elmozdulás csavarkötések oldását követően állítható. Az állítás minden gumiabroncsméret esetén szükséges. A tengely végére kerékagyat rögzítettünk, amely közvetlenül a keréktárcsát fogja. A kocsiszekrény mozgását időszakosan végezzük hidraulikus munkahengerrel, amelyet elsősorban a gumiabroncs, illetve a borda kiemelésére és mérési pozícióba való visszaállítására használunk.

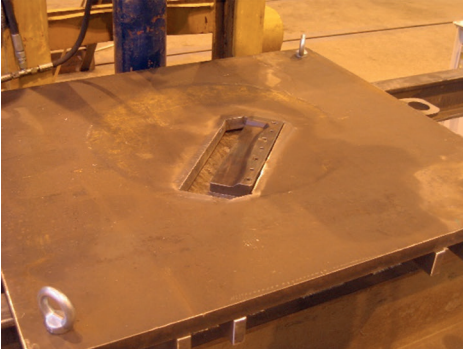


6. ábra

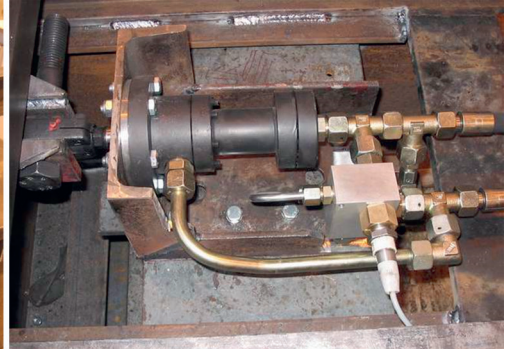
A gumiabroncs-tartószerkezet [a szerzők]

A gumiabroncs alatt helyezkedik el a borda vízszintes elmozdulását lehetővé tevő úgynevezett tárgyasztal. A tárgyasztal vízszintes elrendezésű, amelyen kivágtunk egy, a borda elmozdulását lehetővé tevő ablakot. A beállított tengelyterhelésnek megfelelően a tárgyasztalra fekszik fel a vizsgálandó gumiabroncs. A kivágtott ablak a mérendő borda alatt helyezkedik el.

A tárgyasztal (7. ábra) alatt vízszintes irányban alternáló mozgást végző kocsiszerkezet található. A kocsiszerkezeten alakítjuk ki a mérendő borda alátámasztását, illetve mozgatását végző bélyeg helyét. A kocsiszekrény vízszintes irányú alternáló mozgását kis löketű hidraulikus munkahenger (8. ábra) végzi, amely lehetőséget nyújt a mérendő borda 0,5–2,0 Hz-es frekvenciatartományban való mozgatására. Az értéktartományt a korábban elvégzett rezgés- és lengéstan vizsgálatok alapján, illetve a megrendelő tervező- és termékvizsgálati mérnökeivel egyeztetve választottuk ki [1], [3].



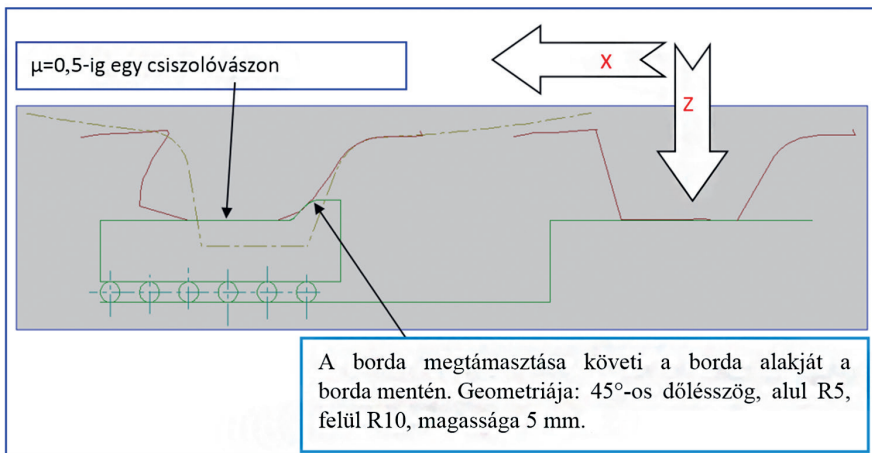
7. ábra
A kocsiszerkezet és a mérőbélyeg [a szerzők]



8. ábra
A kocsiszekrényt mozgató hidraulikus munkahenger [a szerzők]

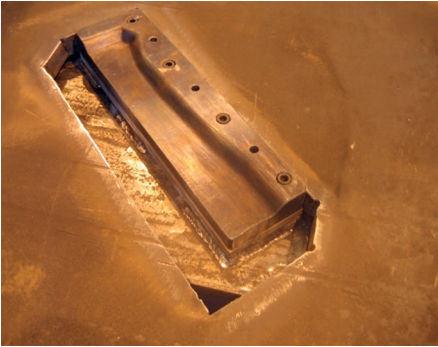
3.3. A mérőbélyeg kialakítása

A mérőbélyeg kialakítása a 9. ábrán látható. Minden mérendő gumiabroncsstípushoz más és más bordaprofilú bélyeget alkalmazunk.



9. ábra
Egy lehetséges bélyegprofil-kialakítás [a szerzők]

A bélyegprofilok, illetve a kapcsolódó méretek a megrendelővel megállapított optimális bordakialakítás alapján történnek. A bélyeg (10. ábra) a tárgyasztal kivágott ablakában a kocsiszekrényre rögzítve végez alternáló mozgást. A bélyeg rögzítése csavarkötéssel történik a vízszintesen mozgó kocsiszekrényen. A mozgatót biztosító hidraulikus tápegység és a vizsgálóberendezés automatikus működését lehetővé tevő vezérlőpanel a 11. ábrán látható.



10. ábra

A vízszintes erőátvitelt biztosító bélyeg [a szerzők]



11. ábra

A hidraulikus tápegység és a vezérlőpanel [a szerzők]



4. Összefoglaló

Kutatásaink során feltérképeztük a gumiabroncsok kifáradásosbordatörés-vizsgálatának lehetséges módszereit. A vizsgálat meggyorsítására, illetve a laboratóriumi vizsgálat megvalósíthatóságára kidolgozott négy javaslat közül az elvégzett szakmai értékelések alapján a d) változatot, azaz a gumiabroncson a gumiabroncs befogásával végzett vizsgálati modellt választottuk. Ez az a kísérleti, vizsgálati modell, amelyik a legjobban megfelel a gyakorlatban is fellépő terhelési viszonyoknak, és amely majd a későbbiekben a természetes folyamatokkal való összehasonlításra és validálásra is alkalmas lesz.

Ezt követően a kiválasztott vizsgálati módszer megvalósításához vizsgálóberendezést alakítottunk ki. A berendezés kialakításához először meghatároztuk a vizsgálat követelményrendszerét, azokat a vizsgálati paramétereket, amelyek hatással vannak a berendezés szerkezetére, műszaki paramétereire, majd a követelményrendszer alapján megterveztük, és elkészítettük a vizsgálóberendezést. Ezután került sor a berendezéssel végrehajtandó vizsgálati eljárás kidolgozására, meghatároztuk annak menetét, módszerét és paramétereit. Következő feladatunk a kialakított mérési módszer kipróbálása, „finomítása”, majd validálása lesz.

Felhasznált irodalom

- [1] Kiss Zs. P., Szöllősi I., „Mezőgazdasági gumiabroncsok profilfejlesztésével kapcsolatos vizsgálatok,” in Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztálya Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, 24. Az előadások tartalmi összefoglalói

- XXIV. MTA AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Tóth László, Benkóné Pongó N. szerk. Gödöllő, Magyarország: FVM Műszaki Intézet, 2000, p. 47.
- [2] Kiss Zs. P., „Egyszerűsített mezőgazdasági abroncsmodell és a talaj kontaktnyomás-mérési módszerének a kidolgozása a Danhauser hidraulikus mérőrendszeren,” in Fenntartható Tápanyag-gazdálkodási Tudományos Műhely Konferenciája 2022. Innovatív megoldások a XXI. század mezőgazdaságában: konferenciakiadvány. Irinyiné Oláh K., Kosztyuné Krajnyák E., Szabó B. szerk. Nyíregyháza, Magyarország: Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, 2022, pp. 64–72.
- [3] Kiss Zs. P., „Development of a Test Facility for Modelling the Soil Physics Effects of Tyres,” in Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2022: Konferenciakiadvány. Nyíregyháza, 2022. 06. 02. (Nyíregyházi Egyetem Műszaki és Agrártudományi Intézet, Magyar Tudományos Akadémia [MTA] Debreceni Területi Bizottság [DAB] Műszaki Szakbizottsága), Páy G. szerk. Nyíregyháza, Magyarország: Nyíregyházi Egyetem, 2022, pp. 36–41.
- [4] Kiss Zs. P., „Modeling a Real Tire Load Experiments with a Hydraulic Pressure Tool,” in International Multidisciplinary Conference 14th Edition, Páy G. L. szerk. Nyíregyháza, Magyarország: Nyíregyházi Egyetem, 2022, pp. 48–53.
- [5] Sárközi L., Kiss Zs. P., „Mezőgazdasági gumiabroncsok talajfizikai tulajdonságainak értékelése,” in EU-konform mezőgazdaság és élelmiszerbiztonság, Nagy J. szerk. Debrecen, Magyarország: Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum, 2002, pp. 369–374.

Determination of Fatigue Rib Fracture Test Options for Tyres Under Laboratory Conditions

The fatigue fracture of the ribs is one of the typical failures of agricultural tires. In the investigation of the causes of this kind of injuries, it is a serious difficulty that checking the effect of the design and production modifications carried out in order to avoid rib fractures is only possible with a very lengthy and expensive test method (endurance test). The aim of the study is to develop a test method that can be used to induce fatigue rib fractures in a reproducible manner under laboratory conditions, and we have developed a device that enables fast and reproducible testing of this type of failure in laboratory conditions.

Keywords: *tyre, fatigue test, rib fracture*

Dr. Kiss Zsolt Péter
főiskolai tanár
Nyíregyházi Egyetem
Műszaki és Agrártudományi Intézet
Közlekedéstudományi és Infotechnológia
Tanszék
kiss.zsolt@nye.hu
orcid.org/0009-0007-7702-0594

Zsolt Péter Kiss, PhD
College Professor
University of Nyíregyháza
Institute of Technical and Agricultural Sciences
Department of Transport Sciences and
Information Technology
kiss.zsolt@nye.hu
orcid.org/0009-0007-7702-0594

Kassai Zsolt tudományos munkatárs NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet kassai.zsolt@fvmmi.hu orcid.org/0009-0004-5076-3521	Zsolt Kassai Research Fellow NAIK Agricultural Mechanization Institute kassai.zsolt@fvmmi.hu orcid.org/0009-0004-5076-3521
Dr. Sente Márk ügyvezető igazgató NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet sente.mark@fvmmi.hu orcid.org/0009-0007-8064-6707	Márk Sente, PhD Managing Director NAIK Agricultural Mechanization Institute sente.mark@fvmmi.hu orcid.org/0009-0007-8064-6707

