

Válasz
Dr. Kalácska Gábor egyetemi tanár, az MTA doktora
bírálatára

Először is köszönöm Dr. Kalácska Gábor bírálói munkáját, valamint a dolgozat részletekre is kiterjedő, alapos kritikai elemzését, értékelését.

A bírálatban megfogalmazott kritikai észrevételek, megjegyzések közül elsőként azokra a dőlt betűvel tördelt kritikai észrevételekre válaszolok, melyekre a bíráló további magyarázatot/választ vár.

1., „A 4.3.1.-ben, az egyszerű 2D gumi modell tartalmaz konkrét igénybevételi és anyag jellemzőket. Lehet itt érvényességi hőmérséklet tartományt definiálni?”

A 4.3.1. fejezetben bemutatott modell a súrlódási erő viszkoelasztikus (hiszterézis) összetevőjének minőségi vizsgálatára alkalmas. Az alkalmazott 1-ágú modell (Standard-solid modell) nem alkalmas a gumi-szerű anyagok valós viselkedésének modellezésére. A modell egyetlen célja a viszkoelasztikus súrlódási összetevőért felelős fizikai jelenség megismerése, megértése. Az anyagmodell által szolgáltatott relaxációs modulus nagyságrendileg megfelel a szobahőmérsékleti, töltetlen gumikra jellemző értéknek, azonban az üveges modulus nagyságrendekkel elmarad a gumikra jellemző, valós szobahőmérsékleti értékektől. Érvényességi hőmérséklet tartományról csak a dolgozatban bemutatott, kifinomultabb anyagmodellek esetén van értelme beszélni.

2., „4.3.2.-ben volt e valami gyakorlati indíttatása, hogy a modellben az EPDM lap vastagsága 2 mm és az idealizált asperit sugara 0,25 mm? Szintén nincs indoklása a 15 tagú Maxwell-modellnek a kapcsolt nemlineáris rugóval.”

A 4.3.2. fejezetben modellezett, idealizált asperit sugara megegyezik a 4.3.1. fejezetben modellezett 2D-s idealizált érdességcsúcs sugarával. Az idealizált érdességcsúcs sugarának felvétele előtt jelen esetben nem került sor konkrét műszaki felületek, érdesség mérésével meghatározott érdességének analízisére. Konkrét műszaki felületekhez köthető érdesség modellek a dolgozat további fejezeteiben találhatók. Jelen esetben a 2 mm-es gumi lemez vastagságnak sincs konkrét gyakorlati indíttatása. A nemlineáris rugóval párhuzamosan kapcsolt 15-ágú Maxwell-modell szükségességének részletes magyarázatával a dolgozat A melléklete foglalkozik. A nemlineáris rugó alkalmazását a gumi, érdességcsúcsok környezetében kialakuló nagy alakváltozása, míg a 15 darab Maxwell-modell alkalmazását a gumi valós relaxációs viselkedésének mennyiségi szempontú modellezhetősége tette szükségessé.

3., „A 4.12. /b ábra olvashatatlanul kicsi, van-e értelme a viszkoelasztikus súrlódási tényezőt 5 tizedes jegyre megadni?”

A gépészmérnöki gyakorlatban előforduló súrlódási tényezők esetén általában 1-3 tizedes jegy alkalmazása indokolt. Az említett ábra azonban csak a látszólagos súrlódási tényező viszkoelasztikus (hiszterézis) összetevőjének nagyságát szemlélteti. A szükséges tizedes jegyek száma ebben az esetben alapvetően a számítással meghatározható súrlódási tényező nagyságától függ. Az ábra tanúsága szerint, a végeselem módszerrel számított látszólagos súrlódási tényező nagysága 0,0007 és 0,0024 között változik. Az ötödik tizedes jegy ebben az

esetben elhagyható. A betűméret az említett ábrán valóban kicsi, de számomra egyáltalán nem tűnt olvashatatlannak.

4.,*A 4.22 ábra aláírása a modell identifikációját tartalmazza, de hogy történt-e validálás pl. adott hőmérséklet tartományra, az nem derül ki.*

A numerikus eredmények validálására csak $T=20^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékleten került sor.

5.,*A 4.27 ábra a névleges normál terhelés függvényében mutatja az NBR 90 jelű gumi csúszását igen kis sebességgel (0,1 mm/s) PMMA és acél felületen. Denny hipotézise mellett van-e saját magyarázata a tapasztalt jelenségről, illetve a görbék közti különbségről? Hogy kell értelmezni a kenési állapotot és azt, hogy „light mineral oil”?*

Az acél-NBR és a PMMA-NBR csúszópár esetén eltérőek a merevségi viszonyok, így a valós érintkezési tartomány nagysága sem egyezik meg. Az eltérő hatásos vagy eredő rugalmassági modulus miatt acél-NBR esetén kisebb lesz a valódi érintkezési tartomány nagysága, ami kisebb határsúrlódási erőt eredményez. A „light mineral oil” kifejezés kis viszkozitású olajat jelöl.

6.,*Miért számolt szemcseátmérő nyolcszorosával a kifolyási átmérőnél? Ez nagyon alacsony érték, nem biztos, hogy klasszikus halmazként viselkedik a kifolyásnál, boltozódás veszélye is fenn áll.*

A kifolyási keresztmetszet méretét előzetes futtatások alapján vettem fel. Az általam használt kifolyási keresztmetszet és modell paraméterek mellett a kifolyás minden esetben egyenletes volt és egyik esetben sem alakult ki boltozódás. A kifolyási keresztmetszet méretének megválasztása során, nemcsak a boltozódás elkerülésére kellett figyelnem, hanem arra is, hogy az előálló numerikus modellben a töltetmagasság és a silókeresztmetszet gondos megválasztását követően előálló numerikus modell számítási igénye ne legyen túl nagy. Ugyanis, 3D-s futtatásról és a maiaknál több mint tíz évvel korábbi számítógépekről beszélünk.

A bíráló által választ igénylő kritikai észrevételként megjelölt pontok megválaszolását követően, röviden szeretnék reflektálni a bírálatban szereplő további megjegyzésekre/kritikákra is.

7.,*Hiányként kell megemlíteni, hogy a dolgozat elején nincs jelölés+dimenzió és rövidítés jegyzék.*

A dolgozat nem tartalmaz jelölés és rövidítés jegyzéket. A dolgozat egyes fejezeteiben/alfejezeteiben használt fogalmakat/mennyiségeket előfordulási sorrendjüknek megfelelően folyamatosan definiáltam.

8.,*Nem könnyíti meg az anyag megértését és a saját munka bemutatását az, hogy az érdemi fejezetekben a szakirodalmi eredményekkel együtt, illetve annak a tükrében jelennek meg a saját eredmények, sőt, a szakirodalom kritikai összefoglalása külön egyes alfejezetek után (pl. 4.4.3) jelenik meg.*

Köszönöm a bírálói észrevételt. Az általam követett gyakorlattal a folyamatos lapozgatási kényszert szerettem volna elkerülni, miközben az olvasó megpróbálja összehasonlítani az eredményeimet a dolgozat elejére tett szakirodalmi áttekintés részben közölt eredményekkel/megállapításokkal.

9.,„Sajnálatos, hogy a tanulmányozott EPDM és NBR összetétele, carbon-black tartalma (az anyagok meghatározó receptúrája) nem ismert, kénytelen a jelölt fizikai/mechanikai tulajdonságokkal azonosítani az egyes polimereket, mint pl. a 4.25 ábrán, ahol a „ShoreA” keménység alapján azonosít. (...tudjuk, hogy ez így nem adhat általánosítható eredményt...)”

Egyetértek a bíráló megjegyzésével. Ugyanakkor fontosnak tartom kihangsúlyozni, hogy a dolgozatomban/publikációimban minden olyan információt közöltem, amely rendelkezésemre állt, és amivel nem sértettem a kutatási téma mögött álló ipari partnerek érdekeit. A vizsgált EPDM receptúráját az érintett spanyol, fékrendszerek fejlesztésével foglalkozó, nemzetközileg ismert/elismert autóipari cég ipari titokként kezelte, így azt még a kutató/fejlesztő munkában közvetlenül részt vevő egyetemi/kutatóintézeti kutatók sem ismerhették.

A 4.25. ábra szakirodalmi eredményeket ábrázol, feltüntetve (az ábrán, illetve az ábrához kapcsolódó szöveges részben) az összes olyan részletet, melyek a hivatkozott szerzők eredeti publikációiban megadásra kerültek.

10.,„A gumik és elasztomerek súrlódási sajátosságainak tisztázása (Grosch, Lorentz, Persson...stb. megközelítései, majd vissza az Amonton's törvényhez) nehezen követhető. A súrlódási ellenállás hiszterézis komponensének bevezetése sem logikus. Célszerűbb és érthetőbb lett volna az általánosan elfogadott Archard-féle súrlódási elméletre alapozva ($F_s = F_A + F_d$ azaz a súrlódási ellenállása a kontaktzóna adhéziójának és deformációjának az összege) kiindulni, és ezt kiterjeszteni a kontaktzónától távolabbi anyagi részek deformációjából eredő energiaveszteséggel.”

A viszkoelasztikus testek súrlódásával foglalkozó kutatói közösségen belül uralkodó, és a dolgozatomban is hangsúlyozott felfogás értelmében, a súrlódási erő egyidejűleg fellépő, azonban egymástól nem független fizikai folyamatok következménye. Ez az jelenti, hogy például a valós érintkezési tartományon fellépő adhéziós kapcsolatok elnyírásához szükséges munka, mint kontaktfelületi trakciókkal kapcsolatos súrlódási munka, nem független a viszkoelasztikus test makro és mikro (kontaktfelületi érdekességek környezetében kialakuló) deformációjával kapcsolatban lévő, az anyag belső súrlódásából származó energia disszipációtól. A súrlódási erőért felelős fizikai jelenségek között fennálló kölcsönhatások miatt, nem tartottam célszerűnek sem az általánosan elfogadott Archard-féle súrlódási elmélet említését, sem a különböző fizikai folyamatokból származó súrlódási munkák/energia disszipációk éles megkülönböztetését.

11.,„A 4..2.-es ábra minősége nem elfogadható, még ha irodalmi is, a dolgozatban fel kellett volna javítani az olvashatóság miatt. A 4.1. és 4.2. ábrákhoz a kritika hozzá tartozott volna, hogy a kontaktzónától távolodva nem két elkülöníthető anyagi tartomány van anyagmodell szempontjából, hanem valójában az érintkezési zónától egyre távolabb haladva fokozatosan hal el a deformáció mértéke, az anyag alapvetően gradiens viselkedést mutat.”

Egyetértek a bírálói megjegyzéssel. Az említett szakirodalmi ábra minősége tényleg hagy kívánni valót maga után, de én ebben az esetben sem érzékelem az olvashatatlanságot. A 4.1 és 4.2 ábra tekintetében teljes mértékben egyetértek Bíráló állításával, azonban az nem

teljesen világos számomra, hogy a dolgozatom mely része sugallhatta azt, hogy „*két elkülöníthető anyagi tartomány van anyagmodell szempontjából*”.

12,„*A 4.3.6 és a 4.3.7 alfejezet foglalkozik a korábbi ismeretek kiterjesztéseként 3D-s végeelem modellekkel, hangsúlyozva a fékhenger és EPDM tömítés érintkezési viszonyainak és súrlódásuknak számítását (4.17-4-19. ábrák), valamint macro-scale geometriai elrendezésben (acél gömb csúszása gumi felületen) a modellszámítások jóságát, mérési eredményekkel összevetve (4.22. ábra). Sajnos a vizsgálati rendszer és határai nincsenek kellően definiálva.*”

Egyetértek Bírálóval. Egy több oldalas tudományos közleményben ismertetett vizsgálati rendszert nem lehet információvesztés nélkül összefoglalni fél oldalban.

13,„*Az 5. fejezet foglalkozik silók kifolyásának modellezésével, diszkrét elemes analízissel. Ez a része a dolgozatnak tematikailag nehezen kapcsolható össze az előbbiekkal, csak a feladat megoldás módszertana tekinthető közösnek. Az egész dolgozat legproblémásabb fejezete, amit talán el is lehetett volna hagyni.*”

A dolgozat valamennyi fejezete a súrlódásos érintkezés numerikus modellezése témakörhöz kapcsolódik. A dolgozat utolsó fejezetében alkalmazott diszkrét modellezési megközelítés valóban eltér az azt megelőző fejezetekben alkalmazott kontinuum mechanikára épülő modellezési megközelítéstől, de a szerkezet szintű súrlódási erő előrejelzése szempontjából éppent ez a tény adja az utolsó fejezet jelentőségét. A dolgozat utolsó fejezetének célja ugyanis a szerkezet szintjén megjelenő súrlódási erő részecskék szintjén definiált érintkezési/súrlódási modellekre épülő előrejelzése. A diszkrét modellezési megközelítéssel elért eredményeim jelentős, napjainkig tartó nemzetközi szakmai visszhangja sarkalt arra, hogy a dolgozatomat az ezzel kapcsolatos eredményeim bemutatásával zárjam le.

14, „*Az 5. fejezet irodalmának áttekintése hiányos. Sajnálatos, hogy a BME-n korábban elért, már a 90-es években publikált eredmények (pl.Bagi Katalin, diszkrét elemes halmazok modellezése, az MTMT-ben 91-től végignézhető) nem jelennek meg. Nem kevés munka történt Magyarországon a mezőgépezés területén is, ennek is érdemes lett volna utána nézni.*”

Az 5. fejezetben bemutatott eredmények egy több mint másfél éves németországi kutatómunka lezárásaként láttak napvilágot. Dr. Bagi Katalin munkássága nem volt ismeretlen előttem, de az általa követett kutatási stratégia alapvetően eltért az enyémtől. Míg Dr. Bagi Katalin munkássága alapvetően kereskedelmi programrendszerek alkalmazására épül, addig nálam az egyik legnagyobb kihívás éppen a 3D-s, általánosan használható, önállóan futtatható szimulációs program számítási algoritmusainak megtervezése, implementálása, ellenőrzése, majd alkalmazása volt. Bagi Katalin 2004 előtti munkásságában nem található olyan tanulmány, ami közvetlen hatással lett volna az általam publikált eredményekre.

Azokat a munkákat és eredményeket, amelyek után „érdemes” volt utánanézni, döntően befolyásolta az a tény, hogy a kutatást a Német Kutatási Alap finanszírozta. A tudományterület állása szempontjából elsődleges jelentőséggel bíró eredmények között a magyar vonatkozású, mezőgépezethez köthető eredmények sajnálatos módon nem szerepeltek.

15, „*Az 5. fejezet fő problémája, hogy szemcsetulajdonságokra alapozva állítja fel a kapcsolati modellt és próbálja makro-rendszerre átültetni. Ez rendkívül bizonytalan dolog. A*

diszkrét modellezés a gyakorlatban nem működik a „valós” szemcsetulajdonságok alkalmazásával, a halmazt és annak viselkedését kell modellezni. Még akkor sem, ha a modellben és a valóságban ugyanakkorak a szemcsék. A DEM-ben az egyik legnagyobb probléma a megfelelő paraméterek megkeresése, ebben a témában a mai napig jelennek meg új módszerek, nem véletlenül. A módszer gyakorlati alkalmazásának alapvető feltétele, hogy a halmaz viselkedését írja le, ami a paraméterek identifikációjával lehetséges.”

Köszönöm a bírálói észrevételt. A kritikai észrevétellel kapcsolatos megjegyzéseim a következők.

a, Nem szemcse tulajdonságokra, hanem a méréssel meghatározott szemcse-szemcse interakcióra alapozva állítottam fel a kapcsolati modellt.

b, A szimulációval meghatározott szerkezet-szintű sűrűlási erő mérési eredményekkel történő összehasonlítására 2004-ben nem került sor. Ugyanakkor a paraméterek identifikációjával kapcsolatban fontos feltenni magunknak a kérdést, hogy a halmaz milyen viselkedésére gondolunk pontosan, amikor annak modellezéséről és a modell paraméterek arra épülő identifikációjáról beszélünk. Még jelenleg is nagyon távolinak tűnik egy olyan kapcsolati modell paraméter sorról beszélni, amivel a Bíráló által említett halmazra jellemző viselkedés valamennyi jellemzője egyidejűleg modellezhető.

c, Egyetértek a Bírálóval, hogy a modell paraméterek kalibrálásával kapcsolatban mind a mai napig jelennek meg új módszerek. Ugyanakkor úgy gondolom, hogy az eredményeim újdonság tartalmát az eredmény megjelenésének időpontjában rendelkezésre álló szakirodalmi eredmények tükrében kell megítélni.

16, *„Az 5.1. táblázat adatait nem mérte, nem kalibrált a modell, csak átvette a Schafer cikk [87] alapján, ami szintén átvett egy korábbi cikkből [91], mely 2D gömbmodelleken alapszik. Azaz cellulóz-acetát gömböket modellez, nem azok halmazát, ami teljesen másképp viselkedik eltérő szemcseméreteknél és silógeometriáknál.”*

Megköszönve a Bíráló megjegyzését, szeretném kihangsúlyozni, hogy a szimulációimban egyetlen szemcseméret szerepel. A szimulációimban ugyanazzal a szemcsemérettel dolgoztam, mint amire Foerster és társai [91] mérési eredményei vonatkoznak, és amivel Schafer és társai [87] is dolgoztak az igen nagy tudományos visszhangot és szakmai elismerést kiváltó szimulációikban. Ennek megfelelően a kapcsolati modell paramétereinek kalibrálásához a méréssel meghatározott szemcse-szemcse interakció került felhasználásra, maga a kalibráció pedig Schafer és társai [87] munkájában található.

17, *„Egy valós kifolyási modell kifolyási sebességének mérésével a halmaz- és a modell validálása is megtörténhetett volna, e nélkül a munka eredményét vagy elhiszi az olvasó, vagy sem.”*

Köszönöm a bírálói észrevételt. Az észrevételre a 15. sorszámú kérdésre adott válaszomban már reflektáltam.

Tézisek

5. tézis: *„A munka érdemi része 2005-re datálódik gömbmodellekre építve, amikor a módszer és eredmények újszerűsége fennállt, de a jelen dolgozatban megfogalmazott tézis már egyrészt elavultnak tekinthető, másrészt pontatlan és bizonytalan megfogalmazású. A munkából megfogalmazott tézist (5. tézis) nem tudom elfogadni - mindamellett, hogy működik egy nagy*

munkával megírt számítási modell – mert a megfogalmazása bizonytalan. Kalibrált modellt definiál, habár a leírtak szerint nem az, végképp nem a halmazra vonatkozóan. A falnyomás értékét számolva kijelenti, hogy az a töltet súlyának 12....16%-a. Ez nem igaz így, ehhez siló geometriai arányok tartoznak, melyek egyébként szabvány szerinti kategóriákban definiáltak (pl. EUROCODE1, tervezés alapjai, tartószerkezeteket érőhatások: „karcsú” és „zömök” silók. Az EUROCODE1 tartalmazza azt a Janssen-féle falnyomásra vonatkozó, „e”-ados tellítési görbe szerinti eloszlás függvényt, amit a dolgozat a 4.5.6-ban a 103.oldalon említ, de sehol nem mutatja be és nem hivatkozza.”

Az 5. tézissel kapcsolatos kritikai észrevétel azon részével, miszerint a tézisben megfogalmazott tudományos „eredmények újszerűsége” publikálásuk időpontjában „fennállt”, teljesen mértékben egyetértek. Pontosan ez a tény motivált akkor, amikor ezeket az eredményeimet a dolgozatom azon új tudományos eredményei között szerepeltettem, melyekkel, PhD fokozatom megszerzését követően, hozzájárultam az adott kutatási területek ismeretanyagának bővüléséhez. A kritikai észrevétellel kapcsolatos további megjegyzéseimet az alábbi pontokban foglalom össze.

a, A tézispont „elavultságára” utaló bírálói észrevétellel kapcsolatban, azon meggyőződésemnek szeretnék hangot adni, amelynek értelmében a tudományos teljesítmény/eredmény nem tűnik el/szűnik meg létezni az által, hogy újabb és újabb eredmények jelennek meg az adott kutatási területen, különösen akkor nem, ha egy rendkívül gyorsan fejlődő, nagy számításigényű területről van szó. Természetesen nem állítom, hogy az azóta eltelt több mint tíz év alatt nem jelentek meg a szakirodalomban olyan eredmények, amelyek a tézispontomban megfogalmazott tudományos állítás szempontjából újdonság rontónak számítanának. Azt viszont továbbra is határozottan állítom, hogy az eredményeim a publikálásuk időpontjában újdonsággal bíró eredményeknek számítottak, ezért is jelenhettek meg rangos publikáció formájában. A tézisponthoz tartozó publikációm független, külföldi szerzőktől származó, nemzetközi szakfolyóiratokban megjelent hivatkozásainak száma mára meghaladta a nyolcvanat. Az eredményeim hosszú távú tudományos hatását pedig az a tény is erősíti, hogy az említett cikkekre minden évben (beleértve a 2016-os évet is) 6-8 független, külföldi szerző(k)től származó hivatkozást kapok.

b, A tudományos állításom Bíráló által említett „pontatlan és bizonytalan megfogalmazásával” kapcsolatos véleményem a következő.

b1, A modell paramétereinek kalibráltságával kapcsolatos álláspontomat a 15. bírálói kérdésre/észrevételre adott válaszomban már ismertettem.

b2, A Bíráló azon észrevételével, miszerint „*A falnyomás értékét számolva kijelenti, hogy az a töltet súlyának 12....16%-a. Ez nem igaz.*” maximálisan egyetértek. Azonban az 5. tézisben megfogalmazott tudományos állításom nem a falnyomás, hanem a falsúrlódás nagyságára vonatkozik. A Bíráló falnyomással kapcsolatos észrevételeit köszönöm, de véleményem szerint a falsúrlódás nagyságára vonatkozó tudományos állításom újdonság tartalmát ezek az észrevételek nem kérdőjelezik meg.

A tézissel kapcsolatos kritikai észrevételek megfontolását/megválaszolását követően a tézisponttal kapcsolatos azon véleményemet, miszerint az 5. tézis olyan új tudományos eredményt tartalmaz, amivel hozzájárultam a szakterület ismeretanyagának bővítéséhez/gyarapításához, továbbra is fenntartom és ezzel egyidejűleg tisztelettel kérem a tézis elfogadását.

Végezetül, megköszönve Dr. Kalácska Gábor támogató véleményét, kérem a bírálatra adott válaszaim elfogadását.

Budapest, 2017. május 4.

Tisztelettel:

Dr. Goda Tibor János
egyetemi docens