

Bírálat

Goda Tibor János

„Numerical modeling of dry and lubricated sliding contact of (visco)elastic bodies ((Viszko)elasztikus testek száraz és kent csúszó érintkezésének numerikus modellezése)”

c. értekezéséről, amelyet az MTA doktora cím megszerzéséért nyújtott be

Az értekezés 137 számozott oldalt tartalmaz, ebből 107 oldalt az érdemi rész, 7 oldalt a 134 felhasznált irodalom jegyzéke, 2 oldalt a magyar nyelvű összefoglalás, 1 oldalt a köszönetnyilvánítás és 20 oldalt az Appendix tesz ki. A benyújtott értekezést a Jelölt angol nyelven készítette, az eredményeket összefoglaló téziszfüzet magyar nyelvű.

Az értekezés a formai követelménynek megfelel, szépen szerkesztett, nyelvezete – a nem angol anyanyelvű bíráló számára – érthető és egyértelmű. Elírást, sajtóhibát az értekezésben nem vettem észre. Az egyes fejezetek felosztását és az alfejezetek egymáshoz való rendelését viszont nem találom szerencsésnek, sőt a hozzájuk választott betűtípusokat sem (a főbb fejezetek címei nagyobb betűmagassággal ugyan, de normál vonalvastagsággal vannak nyomtatva, míg az alfejezetek címei kiemelt vonalvastagsággal). Az érdemi munka leírása csak a 4.3. alfejezetben kezdődik és minden további fontos téma csak másod- és harmadrendű alfejezetek alá lett sorolva.

Az értekezés témaválasztása kétszeresen is időszerű, egyrészt, mert gumi, ill. gumiszerű viszkoelasztikus anyagokat rendkívül széles körben használnak az iparban, azon belül is a feltörekvő járműiparban, másrészt pedig, mert a numerikus modellezési technikák térhódítása változatlan intenzitással folytatódik napjainkban is. A gumi és a gumiszerű rugalmas polimerek a szerkezeti anyagok egy speciális csoportját alkotják, viselkedésük hagyományos műszaki ismeretek alkalmazásával nehezen leírható, időfüggő, nemlineáris anyagtörvénnyel rendelkeznek, továbbá fáradási, kopási, tönkremeneteli mechanizmusuk sok szempontból még nem tisztázott, ugyanakkor a hétköznapi felhasználók is tapasztalhatják, hogy a mai, gumiból készült alkatrészek minősége messze meghaladja a 10-15 évvel ezelőttit.

Az értekezés tudományos tárgyát a gumi és gumiszerű rugalmas polimerek súrlódásra adott válaszána k kísérleti és numerikus kutatása jelenti. A kutatómunka és így maga az értekezés is két nagy részből tevődik össze, a gumi és gumiszerű viszkoelasztikus anyagok és

adott geometriával rendelkező szerkezeti elemek kenés nélküli és kent állapotú csúszó súrlódásának vizsgálatából és végeselemes modellezéséből, valamint a viszkoelasztikus szemcsékből álló granulátumot tároló álló silók falsúrlódásának makro- és mikroléptékű diszkrét elemes modellezéséből. A két, témáját tekintve különböző kutatómunka az anyagtörvényeken keresztül kapcsolódik egymáshoz, egyúttal betekintést engedve az általánosan alkalmazott, többszörösen nemlineáris, numerikus modellalkotás részleteibe.

Jelölt az értekezésében első részében (pontosabban a 4.3. fejezetben) összefoglalt kutatásait egy EU6 Keretprogram által támogatott projekt keretében kezdte meg, majd ennek befejezése után Bolyai ösztöndíjasként önálló kutatás formájában folytatta. A végeselemes szimulációhoz használt, érdes súrlódó felület viselkedését elsőként logikusan felépített, idealizált geometriájú érdességcsúccsal, ill. csúcsokkal rendelkező, acél csúszófelületből és ideálisan síkfelületű vagy a keményebb testhez hasonló érdességű gumi csúszófelületből álló, 2D modellek segítségével vizsgálta. Az EPDM gumi időfüggő anyagtörvényét kísérleti úton (DMTA) meghatározott adatok felhasználásával, a kétparaméteres Mooney-Rivlin és egy negyvenágas Maxwell modell kombinálásával vette figyelembe, még hozzá igen széles (-50...150°C) hőmérséklet tartományban. Az anyagtörvény kidolgozása önmagában is új tudományos eredményként értékelhető lenne. A Jelölt saját irodalmi hivatkozásaiból kiderül, hogy ezeket az eredményeket nem egyedül, hanem társkutatók segítségével érte el, ami nem csökkenti a Jelölt érdemeit, mivel a hivatkozások egyértelműek, továbbá a Jelölt publikációs listájában a társszerzők százalékos hozzájárulásai is fel vannak tüntetve, mégis célszerű lett volna az értekezésben is egyértelműsíteni, hogy a témavezetésen kívül mi volt a Jelölt és mi a társkutatók eredménye. Az egy érdességpárból álló 2D modellt követte előbb az egy érdességcsúccsal rendelkező acél súrlódó felületből és az ideálisan sík felülettel rendelkező gumiból álló 2D modell, majd az ezt következő modellben az ideálisan sík gumifelületet érdes felületre változtatta. Már az első, idealizált geometriájú 2D-s modellekkel végzett számítások eredményei (4.11. ábra) is igazolták a 4.4. folyamatábrán bemutatott modellezési eljárás használhatóságát. Az előzetes tanulmányként értékelhető 2D-s modellek logikus sorát Jelölt előbb egy szabályos szinuszhullámmal, majd egy változó amplitúdójú szinuszhullámmal leírható felületi érdességű acélfelületből és sík gumifelületből álló modellekkel végzett számításokkal zárta le.

A tudományosan is újdonságként értékelhető 3D modellezést bevezető 4.3.6. alfejezet címe (látszólag sima felületek) félreérthető, hiszen itt nem a látszólagos simaságról, hanem éppen ellenkezőleg, a valóságos (és ezáltal érdes) 3D felület figyelembevételéről van szó.

Jelölt ebben a fejezetben korrektül kutatótársaihoz rendeli az általuk elvégzett munkát. A mikro-léptékű modellezést követően egy makroszkopikus 3D modell segítségével numerikusan reprodukálta az acélgolyó-gumilap súrlódó elempár kísérleti úton kapott eredményeit (4.22. ábra), bizonyítva ezzel a Maxwell-moddal kombinált Mooney-Rivlin anyagtörvény alkalmasságát.

A 4.4. alfejezet egy szakirodalmi összefoglaló, ami az NBR gumik különböző szerzőktől származó (makro)súrlódásvizsgálatok eredményeit összegzi. Bár értem a Jelölt célját, hogy miért ide tette ezt az alfejezetet, mégis több szempontból zavarja az eddigi logikus gondolatmenetet. Először is egy nem gumiszakértő nem tudja összehasonlítani az EPDM és az NBR gumi típusokat. Jó lett volna a vizsgálatokhoz felhasznált anyagokról egy rövid ismertetőt írni a dolgozat elején. Másrészt már a 4.4. pont alatt található, a súrlódási tényezők változását bemutató ábrán szerepel kenőanyag, viszont az azt követő 4.4.1 alfejezet még csak az NBR gumik kenés nélküli súrlódásával kapcsolatos irodalmi eredményeket foglalja össze. Szerintem a 4.4.1. alfejezetnek meg kellene előznie a 4.4 pont alatt írottakat.

Jelölt a 4.4.2. alfejezetben található irodalmi összefoglalóval vezeti be a kent NBR gumifelületek súrlódásának numerikus modellezését. Az alfejezetek felosztására vonatkozó korábbi megjegyzésemet ebben az esetben is fenntartom, nem szerencsés egy mérföldkőnek tekinthető, új témakört másodrendű alfejezetbe tenni. Pedig ez az a témakör, amiben a Jelölt a legtöbb, nemzetközi összevetésben is új eredményt elérte. Az irodalmi összefoglalónál maradva, hiányolom, hogy a különböző anyagú (plexi, acél, üveg, gumi) súrlódó elempárokkal és az egymástól igen különböző kenőanyagokkal (olívaolaj, „könnyű” ásványolaj, hidraulikaolaj, poliészter, polialfaolefin, stb.) kapott eredmények közös ábrán való feltüntetése után még a „Critical discussion...” c. 4.4.3. alfejezetben sincs utalás arra, hogy ezek fizikai-kémiai kölcsönhatása nagymértékben befolyásolhatta a kapott súrlódási tényezőt.

A 4.5. fejezet tárgyalja Goda Tibor kutatómunkájának legérdekesebb és egyben legtöbb új eredményt felmutató részét, a gumik vegyes súrlódási állapotának numerikus modellezését. Egy rövid irodalmi összefoglaló (4.5.1. State of the art) után Jelölt ismerteti a sztochasztikus érdességi profillal rendelkező felület és az ideálisan síkfelület érintkezésének modellezésére kidolgozott, klasszikus, 2D súrlódási modellt, az ún. Greenwood-Williamson modellt, amelyet szembeállított Persson kontaktmechanikai feltételezését is figyelembe vevő modelljével (itt szeretném megjegyezni, hogy a 4.37. ábra megtévesztő, nem a modell 3D felületét mutatja, hanem csak példákat arra, hogyan lehet adott érdességi jellemzővel felületet generálni). Jelölt alkalmazásában az érdes felület a szilárd ellendarab, míg az ideálisan sík

felület a gumi próbatest felülete. A két felület anyagának rugalmas alakváltozását feltételezve és a gumi időfüggő anyagtörvényét is figyelembe véve, Jelölt a száraz súrlódás modellezésével, a 4.17 egyenlet numerikus megoldásával meghatározta a súrlódó felületek közeledését (egymásba nyomódását) a névleges felületi nyomás függvényében. Az eredmények újdonságát az jelenti, hogy a G-W és a Persson modellek alkalmazhatóságát gumi ellendarab esetében Jelölt előtt mások még nem vizsgálták vagy nem publikálták.

A 4.5.3. alfejezetben Jelölt ötvözi az eddigi modellezési technikákat és a velük szerzett tapasztalatait. Salant gondolatmenetét adaptálva és a G-W kontaktmodellt kiegészítve a Reynolds-egyenletből kifejezhető résmérettel, figyelembe véve a viszkozitás nyomásfüggését, kidolgozott egy olyan analitikus-numerikus számítási eljárást, amely lehetővé tette vegyes súrlódási állapotban az átlagos filmvastagság, a névleges felületi nyomás, valamint egy később bemutatott példa esetében a szivárgás meghatározását. A 4.5.6. - 4.5.8. alfejezetek a fenti számítási eljárás gyakorlati alkalmazására mutatnak rendkívül érdekes és mindenképpen új eredmények számító példákat.

Az értekezés 5. fejezete (összesen 20 oldal) az előzőektől témájában és módszerében teljesen eltérő kutatásról ad számot. Jelölt a numerikus modellezést nem a végelesemes módszerrel, hanem a diszkrét elemek módszerével oldotta meg. A feladat szempontjából a választott módszer megfelelő, ugyanis a kitűzött feladatot (viszkoelasztikus szemcsés anyagok nem tengelyszimmetrikus, négyzet alapú silókban való tárolása/adagolása során fellépő erők meghatározását) ezzel a numerikus módszerrel célszerű megoldani. A feladat és a megoldás érdekességét (azaz a kihívást) az jelenti, hogy a tárolt granulátum-elemek egymás közötti és a tároló falával kialakított kapcsolatánál nem a DE modellezésnél általában megszokott, tisztán rugalmas, ill. rugalmas-képlékeny (tehát időfüggetlen) anyagtörvényt kellett alkalmazni, hanem a korábbi fejezetekben leírt időfüggő viszkoelasztikus anyagtörvényt. A kitűzött feladat megoldásában ez kétségtelenül újdonságot jelent, de a kapott eredmények oldaláról nézve nem tudom megítélni, hogy mindez mekkora előnnyel rendelkezik a hagyományos megoldásokhoz képest. Szubjektív véleményem szerint, ha Jelölt e helyett a fejezet helyett az Appendix A és B fejezetét illesztette volna be a dolgozatába, az egy homogénebb és koherensebb értekezést eredményezett volna.

Goda Tibor új tudományos eredményeit öt tézisben foglalta össze. Az 1., 2., 3. és 4. tézist változatlan formában, a Jelölt új tudományos eredményeként fogadom el. Az 5. tézisben megfogalmazott eredményeket elismerem, de azok tudományos újdonságáról az értekezésben

leírtak alapján, az összehasonlítás lehetőségének hiánya miatt nem tudok állást foglalni, így ezt a tézist nem tudom új tudományos eredménynek elfogadni.

A benyújtott doktori értekezés – a kifogásolt részletekkel együtt is – eleget tesz az MTA doktora cím odaítélésével szemben támasztott tartalmi és formai követelményeknek, az elért eredményeket elegendőnek tartom az MTA doktori cím megszerzéséhez és az értekezés nyilvános vitára bocsátását javaslom.

Budapest, 2017. január 31.



Dr. Eleőd András
egyetemi tanár, az MTA doktora