

Hivatalos bírálóat Rónai László

„Robotok heptikus tulajdonságának fejlesztése gyártási és szerelési folyamatok automatizálására”

című PhD értekezésről

Az értekezés áttanulmányozása alapján előjáróban megállapítom, hogy a téma választás időszerű és indokolt, az elvégzett munka magas színvonalú és eredményes; a disszertáció tartalmaz új tudományos téziseket, valamint előrelépést jelent a vonatkozó szabványi és kutatási környezetben. Az értekezés kivitele pedig megfelelő.

A Jelölt értekezése a stabilitásvesztéssel járó, robottal megvalósítható szerelési folyamatok elméleti hátterét is felölelve nyújt bepattanásra alkalmas rugalmas szerkezetek esetére heptikus tulajdonsággal bíró, gyakorlatban is alkalmazható megoldást. Vizsgálatai során tudományos igényességgel összeveti a numerikus mechanika módszerei által szolgáltatott eredményeket az általa tervezett tesztrendszerből nyert mérési adatokkal.

Bírálati észrevételeimet és kérdéseimet az előfordulás sorrendjében teszem meg.

Jelölések jegyzéke részletes, de összeállítása nem hibátlan, mivel az értekezés szövegében a jegyzékből kimaradt jelölés is található, de ettől eltekintve a jegyzék az értekezés olvashatóságát nagymértékben könnyíti.

A bevezetésben bemutatott ismertetés a Jelölt témában való jártasságáról tanúskodik. A második *Irodalomkutatásnak* szentelt fejezet pedig a nemzetközi publikációk bemutatásával célirányosan helyezi el a kutatási környezetbe a disszertáció tárgyát képező mérési/kísérleti eljárásokat és végeselemes modelleket. Bővebben foglalkozik a bepattanással járó szerelésre alkalmas műanyag rögzítőelemekkel kapcsolatos kutatási eredményekkel és több irodalmi hivatkozás áttekintve nyújt a saját kutatómunka közvetlen előzményeit összefoglaló áttekintést bemutatva a kapcsolódó szimulációs módszerek elméleti alapjait összefoglaló irodalmakat. Megítélésem szerint a fejezet végén a Jelölt már inkább csak felsorolás jellegű a felhasználási terület megjelölésén kívül, az elméleti háttérrel csak minimális tájékoztatást nyújtó irodalmi áttekintést ad.

A harmadik fejezet a *rugalmas, hajlékony rúdszerkezetek numerikus modellezését* tárgyalja. A Jelölt végeselemes tárgyalásmódban a nagy alakváltozás mellett kis deformációt szenvedő rúdszerkezet modellezését mutatja be. Ennek alapja a 3.1. ábra és az azon bejelölt szövegekben tangens függvény tulajdonságát kihasználó és ismert trigonometrikus átalakításokból származó, a jelölt által irodalomból átemelt 3.1 és 3.2 képletekből számol lokális csomóponti szögelfordulás. Az ezt követő formulákban megjelenő rúdelem L pillanatnyi és L_0 kezdeti hossz és lokális axiális elmozdulás ilyen alapos leírást már nem kapott. Hogyan értelmezi az L pillanatnyi hosszt? Miért a 3.3 számítási képlet célszerű az u_L lokális axiális elmozdulás számítására? Az ezt követő képletekhez az irodalmi hivatkozásokon túlmenően a paraméterek tekintetében, mint az I másodrendű nyomaték stb. bővebb leírást lehetne adni, mivel ezeket a Jelölt későbbiekben is használja és műanyagalkatrészek esetén talán az E Young-féle rugalmassági modulus meghatározása is érdekes lehet. Azt ezt követő co-rotációs módszerben használatos merevségi mátrixok előállítása követhető, de elég tömören leírt. A fejezet a numerikus mechanika ezen fejezetét részleteiben alaposan nem ismerők számára így nehéz olvasmány és a szerző sem könnyíti meg ennek megértését. Az ezután ismertetett konzisztens módszer leírásánál a „származtathatók a virtuális elmozdulás elvéből az elmozdulások approximációjával is:” kezdődő gondolatmenetben a δW_{int} belső erők virtuális munkáját 3.19 képlet alapján történő ismertetése nincs teljes összhangban az addigi leírásban használt jelölésekkel, mivel zavaró, hogy a 3.1. ábrán az x vízszintes tengely jelöl, de itt az x már rúdíránnyként értelmezett, továbbá az itt felírt I_z kapcsolata a

korábbi I jelölésű másodrendű tehetetlenségi nyomatékkal sem tisztázott. A 3.1. alfejezetben, az érintkezési feladat megfogalmazásakor a szóhasználat nem egységes a 15. oldalon egymást követő mondatokban az „érintkezési feszültség”, „érintkezési erő”, „kontakt nyomás” és „kontaktnyomás” szavak kavarognak. Mi a különbség? Zavarónak találtam a 3.30 képletben megjelenő egyszerűhasználatos h_c kezdeti hézag jelölést is, amivel gondolom csak általánosítani próbált. Megjegyezném, hogy ez a jelölés hiányzik is a *Jelölések jegyzékéből*. A 3.2. ábra igényelné a koordinátarendszer tengelyeinek bejelölését, mivel a szerző a későbbiekben nem marad konzekvens e tekintetben. A merev felület határológörbéjének általános egyenletében az x, y koordináták használata persze utal a koordinátarendszerre. Nehezen értelmezhető azonban a szerző 3.2. ábra alatti „Létezik még a kombinált technika is, amely az előbb bemutatott elvet bővíti a számolt érintkezési erő mindkét test hozzáadásával” megjegyzése is. Ezen egy irodalmi hivatkozás, vagy kissé pontosabb leírás segítene. Célszerűnek láttam volna a γ szög és az e_n normális és az e_t tangenciális egységvektorok értelmezését itt ábrán bemutatni, mert nem derül ki egyértelműen a szövegből számomra ezek irányítása stb. Fontosnak tartottam volna a jelölt első tézisében megfogalmazott „egy végeselemes algoritmust fejlesztettem ki” állításának alátámasztását már itt is azzal, hogy a 3. fejezet végén az általa fejlesztett, a gyakorlati megvalósításokat szolgáló és a teoretikus vizsgálatok részét képező szimulációs program újdonságát kihangsúlyozva az általa eszközölt módosításokat jobban kiemeli, elkülöníti. Ez a későbbi 6.1 fejezetből – ahol az általa írt szimulációs programot említi – sem derül ki. Ezért első tézis első mondatának átgondolását, árnyaltabb megfogalmazását javaslom.

A negyedik fejezet a *mechanikai egyensúly stabilitásának vizsgálatát* taglalja irodalmi áttekintést nyújtva. Az itt leírtakkal kapcsolatosan a következő észrevételt, kérdést tenném: A 4.2 és 4.3 képletekben az F_f „súrlódási erő” és az F_c „Coulomb féle csúszási súrlódási erő”, illetve F_{fy} „ y szerelési irányban értelmezett súrlódási erő” és F_{cy}^+, F_{cy}^- „Coulomb-féle súrlódási erő vertikális komponense” között eltérő előjeles kapcsolatot ad a Jelölt. Mi ennek a magyarázata? Különbözik-e egymástól e két súrlódási erő fizikai tartalma csúszás esetén, attól eltekintve, hogy az egyik csak az y szerelési irányban értelmezett komponens?

Az ötödik fejezet a *Nyúlásmérő bélyegekre alapozott erőmérés* címet viseli és ebben egy erőmérő cella alkalmazhatóságát teszteli a Jelölt felhasználva egy végeselemes számítási eredményt és a hasábra felhelyezett nyúlásmérő bélyegek által mért eredményeket. Az 5.1. jelű ábrán a húzott és nyomott bélyegeket már előre jelöli. Ezt a tapasztalat alapján teszi tekintettel az ismert tesztfeladatra, vagy már itt megelőlegezte az olvasó számára a várható végeredményt? A bemutatott erőmérő hasábon végzett mérések leírása részletes, bemutatja a Jelölt jártasságát a nyúlásmérő bélyegekkel végzett erőmérések területén. Az 5.7. és 5.9. ábrákon közölt mérési eredmények átlagával számol és csak ezeket veszi alapul és ebből állapítja meg azt, hogy a mérőcella dominánsan nyírőerőt mér. A fejezettel kapcsolatos kérdéseim: A végeselemes szimuláció során milyen elemcsaládot alkalmazott és végzett-e hibabeclést? Mi indokolja azt, hogy minden terhelési esetre csak 3 db mérés került elvégzésre? Ezt már elegendő számúnak tekinti?

A 6. fejezetben *egy tipikus szerelési folyamat vizsgálata modellezéssel és kísérlettel* ismerkedünk meg. A 6.3. ábrán bemutatott 2D-s modellhez rendelt koordinátarendszer y tengelye itt már lefelé mutat az x tengely pedig nem jelölt. Ezt azért találom kicsit következetlennek mert ezután „a 3.1. alfejezetben leírtak érvényesek” felütéssel él a Jelölt. Célirányos program megírásáról beszél a 31. oldalon, de ennek módja nem ismertett, kódját nem mellékelte és utalás sincs fellelhetőségére. A számítási eredményeket viszont már bemutat a 6.4. és 6.5. ábrákon. Ezt követően az egyensúlyi pontok stabilitásának vizsgálatát azonban már részletekbe menően jól bemutatja a disszertáció, és ezt a munka egyik erősségének tartom. Ezzel kapcsolatosan a következő kérdések merültek fel bennem: Mit ért itt a Jelölt negatív sebesség alatt? Hogyan állapítja meg d_y csillapítási paraméter számértékét? Esetleg mérésekből határozható meg, de akkor milyenféleképpen? Dinamikus szerelés közbeni stabilitás vizsgálatnál említett nagy sebességet hogyan lehetne számszerűsíteni? A 6.1. alfejezetben említett program a 3.1. alfejezetben ismertett elméleti háttér alapján előállított képletek leprogramozása lenne?

A *Robotos szerelés erő-visszacsatolás alapján* című hetedik fejezet a tesztrendszer kiépítését, azaz konkrét megvalósítást mutat be. Egy ipari robot leírásán, az erőmérő rendszer elemeinek ismertetésén, illetve ezek programozásán és néhány kiegészítő eszköz tervezésén, elkészítésén túl egy vezérlési stratégia is kidolgozásra került. Felmerül a kérdés, hogy ipari környezetbe ebből mi vihető át. A választott eszközök mellett létezik-e más esetleg ipari környezetben elterjedten használt eszköznek beépítési lehetőségére opció, azaz az elkészített tesztrendszer mely elemét lehetne továbbfejleszteni esetleg jobbra cserélni?

A nyolcadik *Intelligens robotmegfogó tervezése* című fejezet az előző hetedik fejezet eredményeit közvetlenül használja fel. Itt követelményeket fogalmaz meg a robotmegfogó hardverére és szoftverére ezért módosításokat eszközöl, áttervezi az áramkört. A szempontoknak megfelelő, a jelölt által tervezett intelligens megfogó benne a bepattanás jelenségét felismerni képes, mikrovezérlő programozással bíró, saját tervezésű elektronika legyártásra került. A tervezési folyamatot a fejezet jól dokumentálja. A gyakorlati megvalósítást működőképessége a dolgozat értékét csak tovább emeli.

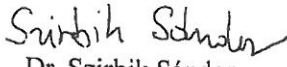
Az *Intelligens robotmegfogó alkalmazása szerelési folyamatokra* című fejezet két gyakorlati példán mutatja be az elméleti eredmények gyakorlati alkalmazhatóságát. A 9.3. ábrán megjelenített erő-visszacsatolással történő szereléskor az utolsó két akkumulátorcella behelyezésekor 4-szer nagyobb erő szükséges a behelyezésre. A magyarázata a szomszédos, már behelyezett cellák okozta támasztó hatásáról elfogadható, de felmerülnek kérdések: Van-e lehetőség a behelyezési sorrend változtatással ezen javítani? Lát-e lehetőséget ennek a szimulációjára? A 9.2. alfejezetben egy *rugalmas csat bepattintási feladata* került ismertetésre. A végeselemes szimulációkat és méréseket a jelölt három csuklós síkbeli szerkezetként modellezett műanyag csatra is elvégezte demonstrálva az összeállított rendszer működőképességét. Végül a Jelölt az intelligens robotmegfogó további alkalmazási területének, azaz a minőségellenőrzési feladatokra történő alkalmazhatóságának demonstrálásával is igazolja munkája sokoldalú használhatóságát.

Az új tudományos eredmények összegzéseként a Jelölt négy tézisben foglalja össze eredményeit, majd a továbbfejlesztési irányokat bemutató *Összefoglalással* zár. Megítélésem szerint a tézisek új tudományos eredményeket fogalmaznak meg. Összességében a téziseket elfogadom. Az első tézis „algoritmust fejlesztettem” ki állítását azonban kissé erősnek érzem, mivel megítélésem szerint a már ismert formulák és eljárásoktól való különbségtétel az értekezésben nem történt meg, nincs igazán konkretizálva, hogy miben más, új az algoritmus. A közvetlen erőszámításra átalakított formulát nem tekinteném fejlesztésnek csak egy egyébként már meglévő elméleti numerikus számítási lehetőség kivitelezésének.

Megítélésem szerint az elvégzett munka alapján benyújtott disszertáció színvonalas és új tudományos eredményekről ad számot. Tudományos értéke megítélésem szerint megfelel a PhD értekezésektől elvárható alapvető követelményeknek. Az értekezés a Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola Szabályzatában leírt formai előírásoknak eleget tesz. Az értekezésben összefoglalt eredmények a pályázó tudományos kutatásra való alkalmasságát nagymértékben bizonyítják.

Az értekezés nyilvános vitára bocsátását javaslom.

Miskolc, 2020. július 7.


Dr. Szirbik Sándor
PhD, egyetemi docens
ME, Műszaki Mechanikai Intézet