B í r á l a t

Cvetityanin Lívia, Phd

DYNAMICS OF MASS VARIABLE SYSTEMS

című akadémiai doktori értekezéséről

1. Általános észrevételek

Az angol nyelven készült értekezés 98 számozott oldalt tartalmaz, amely magába foglalja a tartalomjegyzéket, az összefoglalót és az irodalomjegyzéket. A 89 oldalnyi főszöveg 34 szövegközi ábrát, 5 táblázatot és 536 folyamatosan számozott képletet tartalmaz.

Hiányzik az értekezésből egy következetesen alkalmazott jelölésjegyzék. Az 1. táblázat tartalmaz ugyan egy rövid jelölésjegyzéket, de a szerző a további fejezetekben ugyanannak a mennyiségnek a jelölésére – esetenként az eredeti dolgozatainak jelöléseire támaszkodva – ezektől eltérő jelöléseket is használ. Az egyébként jelentős, új tudományos eredményeket bemutató munka, helyenként gépelési hibákat, elírásokat tartalmaz. Mindez nehezíti a tömören fogalmazott értekezés olvasását.

2. A választott téma időszerűsége

A változó tömegű testek dinamikája területén több mint egy évszázad óta intenzív kutatások folynak. Ennek ellenére a téma ma is nagyon időszerű, és amint az értekezés bevezetője is rámutat, számos műszaki probléma megoldásában alkalmazást nyer. A szerző eddigi életművének jelentős része ehhez a témához kötődik, és körülötte e témában egy tudományos iskola alakult ki. A bíráló véleménye szerint ezen a területen további új tudományos eredmények várhatok. A választott téma tehát a műszaki alkalmazások szempontjából fontos, nagyon időszerű, és minden bizonnyal még sokáig időszerű marad.

3. Az értekezés tartalmi ismertetése és bírálata

Az első fejezet az értekezés irodalmi előzményeinek áttekintése után olyan konkrét ipari szerkezeteket mutat be, amelyek működése során meghatározó a tömegük megváltozása. A bemutatott gépszerkezetek és az említett forgórészeket tartalmazó gépek nagyon szemléletesen mutatják, hogy a változó tömegű testek dinamikájának kutatása mennyire fontos az alkalmazások szempontjából.

A második, harmadik és negyedik fejezet merev testként modellezhető gépelemek szétválásával, kettéválásával és az ütközés kis környezetét leszámítva merevnek tekinthető két

test egyesülésével, azaz rugalmatlan ütközésével foglalkozik úgy, hogy általában nem vizsgálja a kettéválás okát és belső erőrendszerét, továbbá a rugalmatlan ütközés belső erőrendszerét. Jelen bírálatban az angol nyelvű szóhasználattól eltérően az alábbi szóhasználattal élünk. Kettéválás vagy szétválás esetén a 14. ábra szerinti számmal nem jelölt eredeti test egy 1 jelű megmaradó testre és egy 2 jelű leváló vagy leszakadó testnek nevezhető testre válik szét. Egyesülés vagy rugalmatlan ütközés esetén a számmal nem jelölt eredeti testhez egy 2 jelű ütköző vagy hozzáadott testnek nevezhető test rugalmatlanul ütközik és az így kialakuló 1 jelű testet egyesült testnek vagy egyesült testeknek hívjuk.

A szerző feltételezi, hogy a szétválás vagy az ütközés nagyon rövid idő alatt megy végbe úgy, hogy közben megváltozik a folyamatban résztvevő testek impulzusa és perdülete. A szövegben a test sebességén mindig a test súlypontjának sebességét érti. A szétválást és az ütközést együtt tárgyalja, és ez egy nagyon tömör leírást tesz lehetővé. Ugyanakkor mivel vannak olyan jelölések, amelyeknek a jelentése a szétválás és az ütközés esetében eltérő, ez a tömörség az áttekinthetőséget nehezíti.

A második fejezet a szétválásban és az ütközésben résztvevő testek impulzusainak és perdületeinek továbbá, azok megváltozásának számításait mutatja be. Az összefüggésekben az 1. táblázatban szereplő jelöléseket alkalmazza. A levezetések során kiderül, hogy $\boldsymbol{v}_{S2}$ a szétválás esetén a 2 jelű leváló test S_2 súlypontjának a szétválás utáni, ütközés esetén pedig a kiinduló testhez ütköző 2 jelű test S_2 súlypontjának az ütközés előtti abszolút sebességvektorát jelöli. Az $\boldsymbol{\Omega}_2$ mennyiség szétválás estén a 2 jelű leváló test szétválás utáni, ütközés estén a 2 jelű ütköző test ütközés előtti abszolút szögsebességvektora.

Az 1. megjegyzés szerint ennek a fejezetnek bármelyik kifejezésében a mínusz jel a testek szétválására, a plusz jel a testek egyesülésére, azaz rugalmatlan ütközésére utal. A bíráló úgy látja, hogy ez nem igaz a (12) összefüggés esetében mivel itt szétváláskor az $\boldsymbol{L}_{S2}$ perdületvektor előjele pozitív, és ugyancsak nem igaz a (16), (17), (18), (19) összefüggések esetében sem.

A (6) összefüggés feletti sor szerint $\boldsymbol{\Delta K}$ az impulzusoknak a tömegváltozások utáni és előtti különbségét jelöli. Ha ez így van, akkor a (6) egyenlet jobboldalának első tagjában $M(\boldsymbol{v}_{S1}-\boldsymbol{v}_S)$ helyett $M(\boldsymbol{v}_S-\boldsymbol{v}_{S1})$ kellene, hogy álljon. A (12) összefüggés nyilvánvalóan a perdületeknek a tömegváltozás előtti és utáni különbségét mutatja. Ha ennek megfelelően (6) összefüggésben – és az impulzusok különbségét tartalmazó további összefüggésekben pl. (21)-ben is – a tömegváltozások előtti és utáni különbségeket képezzük, akkor viszont a (6) egyenlet második tagjában $m(\boldsymbol{v}_{S2}-\boldsymbol{v}_{S1})$ helyett $m(\boldsymbol{v}_{S1}-\boldsymbol{v}_{S2})$ kellene, hogy álljon, vagy pedig itt sem érvényesek az 1. megjegyzésben elmondottak.

A (16) összefüggésben a bíráló számításai szerint hiányzik egy

$$\boldsymbol{r}_S \times [(M \mp m)\boldsymbol{v}_{S1} \mp m\boldsymbol{v}_{S2} - M\boldsymbol{v}_S]$$

tag, és a (18), (19) összefüggésekből is hiányzik az impulzusok különbségének az O pontra számított $\boldsymbol{r}_S \times \boldsymbol{\Delta K}$ nyomatéka.

A harmadik fejezet a véges tömegváltozások dinamikai vizsgálatával foglalkozik. Az összefüggések levezetésénél a fejezet elején felsorolt feltételezések mellett figyelembe veszi a rendszerre ható külső erőknek és nyomatékoknak az impulzus- és perdületváltozásokra gyakorolt hatásait. A bíráló számításai szerint a (23a) összefüggés baloldalán és a (32) jobboldalán hiányzik az impulzusok különbségének az O pontra számított $\boldsymbol{r_S} \times \boldsymbol{\Delta K}$ nyomatéka. (Ezeket a mennyiségeket a szerző a későbbiekben elhanyagolja.)

A 3.1 pontban a szerző meghatározza az ütközés vagy szétválás után megmaradó test S_1 súlypontjának $\boldsymbol{v}_{S1}$ sebességét. Itt vezeti be a $\boldsymbol{v}_{r1}$ és $\boldsymbol{v}_r$ relatív sebességeket. Ezek közül $\boldsymbol{v}_{r1}$ leszakadás esetén a megmaró test S_1 súlypontjának az eredeti test koordinátarendszerében észlelt sebessége a leválás után, rugalmatlan ütközés vagy egyesülés esetén pedig az egyesült testek S_1 súlypontjának az eredeti test ütközés előtti koordinátarendszerében észlelt sebessége az ütközés után. A $\boldsymbol{v}_r$ relatív sebesség szétválás esetén a leszakadó test S_2 súlypontjának az eredeti test koordinátarendszerében észlelt sebessége a leválás után, rugalmatlan ütközés esetén pedig az eredeti testhez ütköző test S_2 súlypontjának az eredeti test ütközés előtti koordinátarendszerében észlelt sebessége az ütközés előtt. A szerző a megmaradó illetve az egyesült testek sebességét a $\boldsymbol{v}_r$ relatív sebességek függvényeként is felírja.

A 3.2 pontban bemutatja a megmaradó és az egyesült testek $\boldsymbol{\Omega}_1$ szögsebességvektorának számítását a rendszerre ható külső erők és nyomatékok figyelembevétele és azok elhanyagolásának esetében is.

A 3.3 pontban kettéválást feltételezve a korábban levezetett összefüggéseket síkmozgások esetére alkalmazza. A relatív sebességekhez hasonló módon bevezeti a megmaradó és a leváló testek Ω_{r1} és Ω_r relatív szögsebességeit és bemutatja a megmaradó test Ω_{r1} relatív szögsebességének kiszámítási módját. A (40) jelű képletekben szereplő I_1 és I_2 tehetetlenségi nyomatékok nincsenek definiálva. A bíráló úgy véli, hogy itt a Steiner tételnek a (40) alakjai helyett az

$$I_S = I_{S1} + (M - m)\,(SS_1)^2 + I_{S2} + m\,(SS_2)^2$$

alakja került alkalmazásra. A 3.3.1 pont 2. - 4. táblázataiban a kapott eredményeknek összesen 21 speciális esetét mutatja be, és azok egy részét az irodalomban megtalálható eredményekkel is egybeveti. A 3.3.2 pontban a korábban megkapott az elméleti eredményeket egy kezdetben állandó $\boldsymbol{\Omega}_b$ szögsebességgel forgó rugalmas tengelyű forgórész kettéválásának vizsgálatára alkalmazza. A kettéválást a forgórésznek az állórészbe ütközése idézi elő. Az ütközésből adódó impulzus- és perdületváltozásokat elhanyagolja. A szerző felírja a forgórész szétválás előtti és utáni mozgásának differenciálegyenleteit és azoknak adott kezdeti feltételekhez tartozó megoldásait. Megvizsgálja a megmaradó forgórész stabilitását.

A 4. fejezet az előző fejezetekben kapott eredményeknek az analitikus tárgyalását tűzi ki célul. Virtuális elmozdulások és általános koordináták bevezetésével a testek szétválásának és egyesülésének leírására Lagrange féle másodfajú mozgásegyenleteket állít elő. A (88) és (90) összefüggésekben a Φ, Φ_1 *és* Φ_2 mennyiségeket vektoroknak tekinti. A (90) összefüggésekben ezek idő szerinti differenciálhányadosa helyére rendre az $\boldsymbol{\Omega}$, $\boldsymbol{\Omega}_1$ és $\boldsymbol{\Omega}_2$

vektorok kerülnek. Itt hangsúlyozni kell, hogy az $\boldsymbol{\Omega}$, $\boldsymbol{\Omega}_1$ és $\boldsymbol{\Omega}_2$ szögsebességvektorok koordinátái anholonom koordináták ezért a

$$\frac{d\boldsymbol{\Phi}}{dt} = \Omega$$

stb. összefüggések csak speciális esetekben állhatnak fenn.

A bíráló úgy látja, hogy amennyiben a 14. ábra és az 1. táblázat jelölései továbbra is érvényben vannak, akkor a (92) és (93) összefüggések közötti megállapítás a szétválás esetére vonatkozik. A fejezet további része ezt az esetet tárgyalja, és megmutatja, hogy a szétválás esetén, annak körülményeitől függően a kettéválás előtti és utáni mozgási energiák különbözők lehetnek. Megmutatja, hogy az eltérések a korábban definiált relatív sebességekből adódnak. A 4.1 pontban 2. tétel bizonyítása során meghatározza az eltérések mértékét is. Megjegyezzük, hogy az 1. számú tétel az értekezésben nem volt fellelhető. A 4.2 pont a korábban bemutatott eredmények szemléltetésére egy fizikai inga kettéválását tárgyalja. A példában a korábbiaktól eltérő jelöléseket is használ. (Itt pl. $\boldsymbol{\Omega}$ már nem az eredeti test szögsebessége, stb.)

A 3. megjegyzés egyrészt két test rugalmatlan ütközésére, másrészt két test tökéletesen képlékeny szétválására vonatkozik. Megállapítja, hogy rugalmatlan ütközés esetén a mozgási energia csökkenése a sebességcsökkenések alapján számítható. Azt is megállapítja, hogy a rugalmatlan ütközés az ellentéte az eredeti test megmaradó és leváló testre való tökéletesen képlékeny kettéválásának. A 4.3 pontban, a következtetések részben ezt a gondolatot tovább folytatja. Azt állítja, hogy a fentiekben említett módon történő kettéválás során, amely nagyon rövid idő alatt megy végbe, az eredeti test egy relaxációs folyamaton megy keresztül. Ezen relaxáció során a – korábban merev testként és a szétválás helyén tökéletesen képlékeny testként modellezett eredeti testből – a deformációs energia (potenciális energia) a megmaradó és leváló testbe kinetikai energiává transzformálódik. A bíráló javasolja, hogy a szerző a válaszában ezt a gondolatot részletesebben fejtse ki, és lehetőség szerint számítások alapján mutassa be, hogyan kell érteni az itt elmondottakat pl. haladó mozgást végző test szétválásakor és a 4.2 pontban szereplő fizikai inga kettéválásakor.

Az 5. fejezet a folyamatosan változó tömegű merev testként modellezhető szerkezet dinamikájával foglalkozik. Az egyesülésre és a kettéválásra a korábbi fejezetekben kapott összefüggéseket egymás után alkalmazva előbb differenciahányadosokat, majd határátmenetben differenciálhányadosokat képezve – a korábbi feltételezéseket figyelembe véve – előállítja a jelenséget leíró differenciálegyenlet rendszert.

A reaktív erők és reaktív nyomatékok bevezetése után az 5.1 pontban megmutatja, hogy a kapott eredményei mennyiben különböznek az irodalomban találhatóaktól. Megjegyezzük, hogy a (143) összefüggés jobboldalán egy Δt tényező lemaradt.

Az 5.2 pontban a kapott eredményeket szalag dobra csévélésének dinamikai vizsgálatára alkalmazza. A kialakuló lengéseket merev és rugalmas tengely esetén is megvizsgálja. A (177) összefüggésben a tehetetlenségi nyomatékot I_{S1}, a fejezet további részében a tehetetlenségi nyomatékokat J_{S1}, J_r, J_S, J_0 jelöli. Megjegyezzük még, hogy a (195)

egy közönséges elsőrendű lineáris inhomogén differenciálegyenlet, tehát nem Bernoulli típusú.

Az 5.3 pont az elmondottakból levonható következtetéseket tárgyalja.

A 6. fejezet a folyamatosan változó tömegű test Lagrange féle másodfajú mozgásegyenleteit állítja elő. A fejezet végén a szerző rámutat, hogy az általa előállított mozgásegyenlet mennyiben általánosabb a Bessonov által előállított mozgásegyenletnél. Megjegyezzük, hogy a szerző a levezetés során (238) szerint itt is felhasználja a

$$\frac{d\boldsymbol{\Psi}}{dt} = \Omega$$

egyenlőséget, ahol $\boldsymbol{\Psi}$-t szögelfordulás vektornak tekinti. Itt megismételjük a 4. ponthoz tett megjegyzésünket. Az $\boldsymbol{\Omega}$ szögsebességvektor a merev test általános térbeli mozgása esetén nem állítható elő egy $\boldsymbol{\Psi}$ szögelfordulás vektor idő szerinti deriváltjaként (v.ö.: pl. Budó Á. Mechanika, Tankönyvkiadó, Budapest, 1988, 196-204. o.). Ezért (238) második egyenlete csak speciális esetekben igaz.

A 7. fejezet a folyamatosan változó tömegű test lengéseivel foglalkozik. Először egy szabadságfokú nemlineáris mechanikai rendszerek mozgásegyenleteinek közelítő megoldásait keresi azt feltételezve, hogy a nemlineáris rugókarakterisztika páratlan függvény és a rendszer tömege lassan változik.

A 7.1 pontban bemutatja az erősen nemlineáris rendszerre vonatkozó feltételezéseket. Így a (253) illetve a (254) – (256) differenciálegyenletekre jut, amelyekben ε kis paraméter. Ezeket a továbbiakban az $\varepsilon=0$ esethez tartozó differenciálegyenlet perturbációjaként kezeli. Megjegyezzük, (250) jobboldalán $-F_e(x)$ a helyes. A (253) mozgásegyenletben a rugókarakterisztika erősen nemlineáris részét

$$k_\alpha x|x|^{\alpha-1}$$

alakban tételezi fel, de ezt a feltételezést nem indokolja. A későbbiekben kiderül, hogy ez a választás szerencsés abból a szempontból, hogy egyrészt segítségével k_α és α alkalmas megválasztásával számos erősen nemlineáris karakterisztika jól közelíthető, másrészt így a perturbálatlan differenciálegyenlet egzakt megoldása előállítható.

A 7.2 pontban az $\omega_0= \omega(0)$ jelölés bevezetése után először előállítja az $\varepsilon=0$ esethez tartozó perturbálatlan differenciálegyenlet első integrálját. Ennek alapján az Euler féle Γ függvény segítségével felírja a kialakuló periodikus lengések periódusidejét, majd a legnagyobb sebesség közelítő értékét. A perturbálatlan egyenletnek a közelítő megoldásakor ezeket értékek használja fel.

A 7.3 pont a perturbálatlan differenciálegyenlet egzakt és közelítő megoldásainak előállításával foglalkozik. A 7.3.1 pontban koszinusz Ateb függvény segítségével előállítja a 7.2 pontban megadott feltételeknek megfelelő egzakt megoldást. Speciális esetként az $\alpha=1$ esetnek megfelelő lineáris differenciálegyenletet, és az $\alpha=3$ esetnek megfelelő Duffing egyenletet tárgyalja. Ismeretes, hogy a Duffing egyenlet megoldásai előállíthatók a Jacobi féle

elliptikus függvényekkel. Bemutatásra kerül, hogyan jutunk el a lineáris és a Duffing egyenlet egzakt megoldásához az Ateb függvények segítségével. A 7.3.2 pontban közvetlenül trigonometrikus függvény, a 7.3.3 pontban Jacobi féle elliptikus függvény alakjában állítja elő a perturbálatlan egyenlet közelítő megoldásait, majd a két féle közelítő megoldás tulajdonságait összehasonlítja. Megállapítja, hogy a Jacobi féle elliptikus függvényekkel való közelítés pontosabb. A 7.3.1 pont végén azt a megjegyzést teszi, hogy az Ateb függvénnyel előállított egzakt megoldás alkalmazása annak bonyolultsága miatt kényelmetlen. Az olvasóban felmerül a kérdés, hogy mikor és meddig érdemes a közelítő megoldásokat finomítani.

A 7.4 pont a perturbált differenciálegyenlet közelítő megoldásaival foglalkozik. A perturbálatlan differenciálegyenletnek az előző pontban meghatározott egzakt illetve közelítő megoldásait alapul véve az átlagolási módszere támaszkodva az $\varepsilon \neq 0$ esetben előállítja a megoldások különböző pontosságú közelítéseit.

Megjegyezzük, hogy az itt bemutatott megoldási módszereket Roland E. Mickens az Atlanta University fizika professzora a közelmúltban megjelent könyvében (Mickens, R E.:Truly nonlinear oscillations: harmonic balance, parameter expansions, iteration, and averaging methods, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2010) a szerző és mások cikkeire hivatkozva Cveticanin féle megoldási módszereknek, vagy Cveticanin féle átlagolási módszereknek nevezi.

A 7.4 pontban a szerző külön vizsgálja a kis lineáris csillapítások, a lineáris tömegváltozás és a reaktív erők figyelembevételének a lengő rendszer viselkedésére gyakorolt hatását. A kidolgozott módszerek hatékonyságát számpéldákon szemlélteti. A példák analitikus úton kapott eredményeit numerikus számításokkal is egybeveti.

Megjegyezzük, hogy néhány helyen (pl.: a 70. oldalon a (383) képlet előtt, a 71. oldal első sorában, stb.) hivatkozás hiányzik. Az amplitúdó idő szerinti $\dot{A}$ deriváltja a (337) kifejezésének nevezőiben két helyen is szerepel az $(5-\alpha)$ tényező, ahol az 51. oldalon leírtak szerint az α pozitív racionális szám, és (253) szerint a nemlineáris rugókarakterisztikát leíró függvény kitevőjében fordul elő. A (337) összefüggés szerint az amplitúdó idő szerinti $\dot{A}$ deriváltjának más az előjele az $\alpha<5$ és az $\alpha>5$ esetben. Felmerül a kérdés, hogy ez a jelenség hogyan magyarázható meg a rugókarakterisztika megváltozásával. Hasonló probléma merül fel a (338) és (339) összefüggésekben $\dot{\theta}$ illetve $\dot{\Psi}$ esetében is. A 69. oldalon a 7.4.2 pont utolsó bekezdésében az szerepel, hogy a tömeg növekedésével az amplitúdó növekszik. Felmerül a kérdés, hogy ehhez a megállapításhoz milyen fizikai magyarázat fűzhető.

A bíráló számításai szerint (333) és (334) alapján a (335) egyenlet baloldalán a zárójelben

$$+A\frac{\partial\Omega}{\partial A}sin^2\psi$$

kellene álljon, a (336) egyenlet baloldalán pedig a

$$-A\frac{\partial\Omega}{\partial A}sin^2\psi$$

kifejezés felesleges, és a jobboldalon hiányzik a

$$-A\dot{A}\frac{\partial\Omega}{\partial A}sin\,\psi\,cos\psi$$

tag. Az utóbbi természetesen az átlagolás során eltűnik.

Amennyiben a bíráló fenti számításai a helyesek, akkor az értekezésnek a (337), (338) illetve (339) kifejezésekre épülő eredményeit és az azokból levont következtetéseket újra kell gondolni.

A 7.5 pont a 7.1 - 7.4 pontokban leírtak alapján levonható legfontosabb következtetéseket foglalja össze.

A 7.6 pont egy változó tömegű Van der Pol típusú lengő rendszer vizsgálatát mutatja be. A perturbálatlan differenciálegyenlet megoldását a Jacobi féle elliptikus függvényekkel közelíti. A kapott eredményeket példán szemlélteti és numerikus számításokkal is egybeveti.

A 7.7 pont a korábbi eredményeket egy változó tömegű két szabadságfokú lengő rendszerként modellezett nemlineáris rugókkal megtámasztott Laval rotor vizsgálatára alkalmazza. Az elméleti úton kapott összefüggéseket itt is számpéldával szemlélteti.

A 7.8 pont két egyenlő és egyformán lassan változó tömegű nemlineáris rugókkal összekapcsolt lengő rendszer vizsgálatát mutatja be. A kapcsolt differenciálegyenlet rendszert új változók bevezetésével két egyszabadságfokú lengő rendszert leíró közönséges másodrendű differenciálegyenlet rendszerré transzformálja. Ezek megoldására a 7.3 és 7.4 pontokban bemutatott módszereket javasolja. A példában a perturbálatlan differenciálegyenletek Ateb függvénnyel leírt egzakt megoldását alkalmazza. Végül rámutat az analitikus és numerikus megoldások jó egyezésére.

A 8. fejezet az értekezés következtetéseit, a tudományterület fejlődéséhez való hozzájárulását és a további kutatási feladatokat tárgyalja.

4. Az értekezés téziseiről

Az értekezéshez számozatlan 10 oldal terjedelmű magyar nyelvű tézisfüzet tartozik. A tézisfüzet szóhasználata helyenként eltér a jelelegi magyar szóhasználattól, és helyesírási hibákat is tartalmaz, de a hibák leírtak megértését nem zavarják. A bíráló mégis úgy véli, hogy ezeket a hibákat a tézisfüzet archiválása előtt jó lenne kijavítani. Ezt az átdolgozást az is indokolja, hogy a Magyar Tudományos Akadémia jogelődjét létrehozó 1827. évi XI. törvénycikk „a hazai nyelv művelésére fölállítandó tudós társaságról vagy magyar akadémiáról" alcímet viselte.

Az értekezés tézisei közül az 1. tézis tartalmában alapvetően különbözik a többitől, és azoktól eltérő kutatási módszereket tételez fel. Mivel meggyőződésem szerint a téma ilyen mélységű feldolgozása jelentős munkát igényelt, és hasonló összeállítással az irodalomban nem találkoztam, azért ezt a tézist új tudományos eredményként elfogadom.

A 2, 3, 4, és 5. tézist változatlan formában elfogadom.

A 6. tézist azzal a feltétellel fogadom el, hogy a levezetett Lagrange féle másodfajú mozgásegyenletek – a jelen bírálatnak az értekezés 4. és 6. fejezetére vonatkozó részében leírtaknak megfelelően – csak speciális esetekre érvényesek.

A 7. tézist a jelen bírálatban a 7.4 pontra tett megjegyzéssel fogadom el.

5. Összefoglalás

Összefoglalva megállapítható, hogy a jelölt kiemelkedő tudományos munkássággal rendelkezik. A PhD fokozat megszerzését követően jelentős, új tudományos eredményekkel gyarapította a tudományszakot. Kutatási eredményeinek túlnyomó többségét rangos nemzetközi folyóiratokban tette közzé. Publikációs jegyzéke és hivatkozási indexe nagyon tiszteletre méltó. A bemutatott eredményeivel hozzájárult a tudomány továbbfejlődéséhez.

Az értekezés és annak tézisei alapján a doktori munka tudományos eredményeit az MTA doktori cím megszerzéséhez elegendőnek tartom.

A fentiek alapján az értekezés nyilvános vitáját javasolom. Az MTA doktora cím odaítélését támogatom.

Miskolc Egyetemváros, 2014. szeptember 3.

Patkó Gyula
a műszaki tudomány kandidátusa