

## Válasz

### Dr. Balogh Géza kandidátus bírálatára

Köszönöm Dr. Balogh Géza részletes és alapos bírálatát, a tevékenységemet méltató meleg szavakat.

Bírálatát téziseimhez kapcsolva fogalmazta meg, ezért válaszaimat is ilyen sorrendben csoportosítottam.

#### I. téziscsoport (az értekezés 2. fejezete)

E téziscsoportból bírálóm az 1.1. tézist elutasítja, illetve javasolja az 1.1 és 1.2 tézisek összevonását. Egy másik bírálóm, Veszely Gyula professzor elutasítja az egész I. téziscsoportot. Engedtessek meg ezért, hogy ezen a helyen kettejük kifogásaira együttesen, a szokásosnál kissé bővebben és némileg tudománytörténeti aspektusból válaszoljak.

A koncentrált paraméteres akusztikai modellezést Magyarországon a néhai Barát Zoltán, sokunk tisztelt mestere vezette be, elsősorban elektroakusztikai problémák közelítő megoldására. Alapja egy véges impedanciával lezárt egydimenziós akusztikai hullámvezető bemenő impedanciájának közelítő számítása, olyan korlátozó feltételek mellett, melyek az elektroakusztikában – a méretviszonyok következtében – viszonylag könnyen teljesíthetők. A mechanikai koncentrált paraméteres modellezésnél teljesen hasonló úton járt el, és végül ezekből, az elektromos elemeket is bevonva alakította ki azt a zárt, rendkívül következetes analógiát és az abból egyértelműen következő metodikát, mellyel kitűnően lehet tárgyalni az elektroakusztikai átalakítók témakörét (hiszen ebben egyaránt vannak akusztikai, mechanikai és elektromos elemek, ld. [2],[3]).

A Barát által alkalmazott módszer természetesen más problémákra is alkalmazható, azonban elég hamar beleütközünk a korlátozó feltételek korlátaiba. Nagyobb méretű akusztikai rendszerek, például hangcsillapítók, szívó vagy kipufogó hangtompítók teljes üzemi frekvenciatartományban való elemzésére már nem alkalmas, nehezen kezeli az akusztikai elnyelés jelenségét és egyáltalán nem tudja leírni a kontinuumrezgéseket végző mechanikai alrendszereket.

Tudnunk kell azt is, hogy a koncentrált paraméteres megközelítés nem kizárólag Barát Zoltán nevéhez fűződik. Beranek az MIT-n 1947-ben, a villamosmérnök-hallgatók számára kötelezően előírt Műszaki akusztika c. tantárgy oktatása kapcsán jutott el a koncentrált paraméteres elemek analógiájának fogalmához ([5], p. 78) és 1954-ben már könyvben foglalta össze eredményeit [4], Furdujev pedig már 1948-as keltezésű könyvében használt koncentrált paraméterű modelleket [6]. Mindez nem csökkenti Barát Zoltán érdemeit, sőt éppen azt mutatja, hogy tevékenysége szinkronban volt nagy tudományos potenciállal rendelkező népek élvonalbeli kutatóinak tevékenységével [2].

Tudomásom – pontosabban egyetemi kollégái elmondása – szerint Barát Zoltán dolgozott azon, hogy a koncentrált paraméteres elemek viselkedését ne csak az analógia alapján felrajzolt elektromos hálózatok rutinszerű, de fáradságos végigszámolásával, hanem általánosabb kontextusban is le tudja írni, és ennek kapcsán felismerte a sajátfrekvenciák és sajátrezgések számításának jelentőségét. (Erre utal a kollégáitól 60. születésnapjára kapott valóságos két szabadságfokú koncentrált paraméteres mechanikai modell, amin a rendszer két eltérő normál módusát tudta jól szemléltetni, ami egy időben öt nagyon foglalkoztatta.) Legjobb tudomásom szerint azonban Barát Zoltán nem alkalmazta a mátrixkalkulus módszerét, és véleményem szerint ez akadályozta őt meg abban, hogy a koncentrált paraméteres modellt és az analitikus móduselemzést összekapcsolhassa.

A másik oldalról tekintve a kérdést a mechanika számára is régóta evidencia a tömegekből, rugókból és csillapítókból álló rendszerek rezgéseinek meghatározása [7]. A felmerülő problémák mérete azonban csak a digitális számítógépek elterjedése óta teszi lehetővé gyakorlati feladatok, így – többek között – a kísérleti móduselemzés megvalósítását [8]-[12]. A repülőgép- és autóipar magas igényei által életre hívott mechanikai módszerek lassan átszivárognak más szakterületekre, így az akusztikába is, de a két szakterület egységes kezelése csak kevés helyen és csak az utóbbi időben található meg egységes tárgyalásmódban.

Értekezésem 2. fejezete arra tesz kísérletet, hogy a tradicionális koncentrált paraméteres akusztikai modellezés és a hasonlóképpen régóta polgárjogot nyert mechanikai móduselemzés témakörét egységes szemléletben és az analógia kétféle lehetséges párosítását egyaránt felmutatva tárgyaljam. (Barát Z. csak a Beranek által impedancia-típusúnak nevezett analógiát ([4], p. 64.) alkalmazza, Furdujev nem említi a két lehetőséget.) Ez az egységes tárgyalásmód hidat ver az elektroakusztikai rendszerek tervezésében – és ennek megfelelően oktatásunkban is – még mindig fontos szerepet játszó egyszerűsítő modellezés és a más iparágakban már széles körben alkalmazott, sokkal teljesítőképesebb számítási módszerek között, és alapját képezi a későbbi fejezetekben alkalmazott, magasabb szintű elemzéseimnek is. Mai szemmel nézve a kérdéskörök összekapcsolása valóban triviálisnak tűnhet, megfogalmazása idején (1994-1996 között) azonban új eredménynek számított.

## II. téziscsoport (3. fejezet)

Köszönöm bírálóm azon megjegyzését, mely szerint az általam javasolt zárt dobozos hangszóró referenciaként való alkalmazása csak kisméretű frekvencián fogadható el, ezért javasolja az érvényesség határát minden esetben részletesebb vizsgálatokkal megállapítani. Egyetértek a kiegészítésével, és bár az értekezés erre külön valóban nem tér ki, kritikus esetekben magam is több esetben hitelesítettem a vizsgált hangforrást a membrán sok pontján, Doppler-elven működő lézeres rezgésmérővel (LDV) végzett sebességmérés segítségével [13].

Az LDV eszközök sajnos meglehetősen drágák és ezért csak nagyon kevés laboratóriumban lelhetők fel, helyettesítésük pl. miniatűr rezgésérzékelővel újabb hibákkal terhelheti a mérést. Tapasztalatom azonban az, hogy az akusztikai móduselemzés a magasabb frekvenciák tartományában annyi problémával és hibával terhelt, hogy a valóságos korlátokat elsősorban nem a forrás hitelessége szabja meg. Miután egy dinamikus rendszer sajátrezgéseinek amplitúdója nem unikális, egy kiválasztott sajátfrekvencia esetén korrekt módusalak nyerhető nem hiteles gerjesztő forrás esetén is. Problémát a forrás akkor jelent, ha az egyenként meghatározott módusokból eredő frekvenciaátviteli függvényt kívánunk szintetizálni [14], illetve ha a forrást szélesebb frekvenciatartományban végzett átviteli mérésre kívánjuk igénybe venni, ld. pl. [15].

## III. téziscsoport (4. fejezet)

Örömmel és köszönettel olvastam bírálóm megjegyzését arról, hogy ez dolgozatom legértékesebb része. Tudományos szempontból magam is így vélem, bár lehetséges, hogy a hazai akusztikai gyakorlat szempontjából az 5. és 6. fejezet jobban használható eredményeket tartalmaz.

Hasonlóképpen köszönöm egyetértő megjegyzéseit a IV. és V. téziscsoporttal kapcsolatban.

Köszönettel vettem bírálóm észrevételeit a hiányzó jelölésekkel összefüggésben, és őszinte önkritikát kell gyakorolnom a munkámban előforduló számos idegen szó és kifejezés miatt. Nem mentség, hogy e szavak egy része az idegen nyelven írott publikációk visszafordítása kapcsán került bele a szövegbe, mert nagy részüknek van jó magyar megfelelője – és mint ahogy bírálóm megjegyzi, törekedtem is az angol szavak egy részének magyarral való helyettesítésére.

Mindezek alapján ismételten köszönöm Dr. Balogh Géza kandidátus bíráló és dícsérő szavait.

## Hivatkozások

- [1] Barát Z.: A közvetlensugárzó dinamikus hangszóró hatásfoka. *Magyar Híradástechnika*, 1952.
- [2] Barát Z.: Eine neue Ersatzschaltung elektromechanischer Wandler (2. *Akusztikai Konferencia*, Budapest, 1961.
- [3] Barát Z.: *Elektromechanikai átalakítók*. Kandidátusi értekezés, 1966.
- [4] L.L. Beranek, *Acoustics*. McGraw-Hill, New York, 1954.
- [5] L.L. Beranek: *Riding the waves*. The MIT Press, Cambridge, 2008.
- [6] Furdujev, V. V, *Elektroakusztika*. Gosztyeh-Izdat, Moszkva, 1948.
- [7] S.P. Timoshenko, J. N. Goodier: *Theory of elasticity*. Első kiadás: 1934, United Engineering Trustees
- [8] R.E.D. Bishop, G.M.L. Gladwell and S. Michaelson, *The matrix analysis of vibration*. Cambridge University Press, 1979.
- [9] L. Meirovitch: *Computational methods in structural dynamics*. Sijthoff & Noordhoff, Rockville, 1980.
- [10] R.R. Craig: *Structural dynamics. An introduction to computer methods*. John Wiley, 1981.
- [11] D.J. Ewins, *Modal testing: Theory and Practice*. Research Studies Press, Taunton – John Wiley, New York, 1984 (Reprinted 1991)
- [12] D. Formenti, R. Allemang, R. Rost et al, „Analytical and experimental modal analysis”. In: Proc. 15th International Seminar on Modal Analysis, Course on Experimental Modal Analysis, Part I. Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, 1990.
- [13] F. Augusztinovicz, P. Pfliegel, M. Maes and K. Reybrouck, Development of a testing method for automotive shock absorber noise. *Proc. 23rd Int. Seminar on Modal Analysis* (Ed.: P. Sas), Leuven, Vol. II. 881-882.p. (1998)
- [14] K Wyckaert, F Augusztinovicz, P Sas, „Experimental vibro-acoustical modal analysis: reflections on reciprocity and excitation strategy” In: Proc. 13th International Modal Analysis Conference, 1995. pp. 97-103
- [15] X. Lauwerijs, M. Maes, F. Augusztinovicz, G. Nagy, Identification and reduction of sound sources in car wheel suspensions. *Proc. 23rd Int. Seminar on Modal Analysis* (Ed.: P. Sas), Leuven, Vol. II. 873-880.p. (1998)

Szentendre, 2013. június 28.

Augusztinovicz Fülöp