

Tartalom

Bevezetés	2
Hagyományos hangszórók	3
Indirekt módon rezgetett hangszórók	5
SolidDrive SD1G	5
FeONIC F4.....	6
Szimulációs eredmények.....	9
Rezgések szimulációja	9
A rezgető elhelyezésének szerepe	9
Rezgető középső állása	10
Rezgető átlós irányú eltolása	12
Rezgető átlós irányban a sarokba téve	15
4 pontban rögzítve, a rezgető középső állása mellett	18
4 pontban rögzítve a rezgető átlós irányú eltolása mellett	20
Keretbe fogva, rezgető középső állása mellett	23
Keretbe fogva, rezgető átlós irányú eltolása mellett	25
Iránykarakterisztikák	28
Rezgető középső állása	28
Rezgető átlós irányú eltolása	31
Rezgető átlós irányban a sarokba téve	33
4 pontban rögzítve, a rezgető középső állása mellett	36
4 pontban rögzítve a rezgető átlós irányú eltolása mellett	38
Keretbe fogva, rezgető középső állása mellett	41
Keretbe fogva, rezgető átlós irányú eltolása mellett	43
Átviteli függvények.....	46
A mérések	51
Torzításmérés	52
Átviteli karakterisztikák mérése.....	53
Konklúzió.....	58
Irodalomjegyzék.....	62

Indirekt rezgető FEM-alapú elemzése

COMSOL-al és akusztikai mérések

Bevezetés

Hangszórónak azokat az elektronikai eszközöket nevezzük, amelyek elektromos jeleket általunk hallható hanggá alakítanak. Az emberi fül hallástartománya 20-20000 Hz-ig terjed. Az én esetemben egy új eszközt fogok tesztelni gyakorlati alkalmazás szempontjából, a SolidDrive SD1G egy napjainkban újnak mondható eszköz melyről a későbbiekben részletes leírást fogok adni, bár a működési elvről a cég nem sokat árult el. Comsol alatt fogok különböző szimulációkat bemutatni erről az eszközről és ezeket összehasonlítani akusztikai mérésekkel, mellyel meggyőződhetünk a hangszóró elhelyezésének szempontjairól és a hangzó anyag lefogadásának különböző módszereiről. Hangzó anyag bármilyen merevségű és méretű tárgy lehet. Korábban Skripek Péter szakdolgozatában már elvégezte az anyagtól való függés és a méret vizsgálatát és ebből kiderült, hogy a hangzó anyag vastagsága, mérete és alapanyaga nem játszik fontos szerepet.[1.]

A szimulációkat rezgés, iránykarakterisztika és átviteli függvény szempontjából, 300; 1000; 3000 és 10000 Hz-en fogom vizsgálni. Nagyobb frekvencián is fogok iránykarakterisztikai szimulációkat végezni, hogy lássuk, hogyan csökken le a hangnyomás szint például egy szobában vagy egy vasútállomáson. Hangzóanyagként üveget fogok használni, mivel a gyártó ezt ajánlja és szimulációkból kiderült, hogy az anyagnak nincs szerepe a hangkibocsátás minőségében. A hagyományos hangszórók hangterjedése a levegőben 3 dB/m-el csökken addig a SolidDrive által létrehozott hanghullám vesztesége jóval alacsonyabb. Ennek oka az, hogy a membrános hangszórók pontforrások, a SolidDrive síkhullámként terjed, mivel egy nagyfelületű lapról van szó és minden pontja sugároz. Ezeknél az eszközöknél nem tudjuk meghatározni pontosan, honnan jön a hang valójában. A hangminősége nem olyan jó, mint egy hagyományos hangszórónak, de egy hangos pályaudvaron előnyösebb SolidDrive-ot alkalmazni vagy egy iskolai előadáson, ahol csak beszéd-továbbítás a lényeg. Egy akusztikai laborban nyilván jobb egy precíz gömbsugárzót alkalmazni.

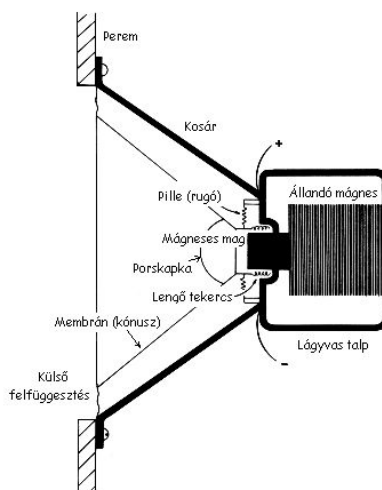
Hagyományos hangszórók

A hagyományos hangszóróknak 4 fajtáját különböztük el:

- a, Dinamikus hangszóró
- b, Lengőnyelves hangszóró
- c, Piezoelektromos hangszóró
- d, Plazmahangszóró

a, Dinamikus hangszórók:

A dinamikus hangszórók a legelterjedtebb hangszórótípusok. Alapját egy állandó mágnes és egy lengőtekercs adja. A tekercsbe jutó áram hatására a tekercs és a papír alapú membrán kezd rezegni, mely hangot generál. A papír alapú membránt gumifóliával rögzítik a hangszóró keretéhez, ettől erősödik a rezgés amplitúdója és a mély hangok visszaadása is javul. [2.]



1.ábra: Dinamikus hangszóró

b, Lengőnyelves hangszóró:

A 20. század közepén a gyártását abbahagyták. Annyiban különbözik a dinamikus hangszóróktól, hogy a tekercs áll és a kónuszhoz rögzített lágyvas nyelvet mozgatja. [3.]

c, Piezoelektromos hangszórók:

A piezoelektromos hangszórók működése a piezoelektromosságon alapszik. Lényege hogy bizonyos anyagokon (kvarc) összenyomás hatására elektromos feszültség jön

létre. Ezt az eljárást fordítva is végrehajthatjuk (elektrosztrikció), ilyenkor a kvarckristályba vezetünk elektromos áramot mely hatására deformálódik. Ez a deformáció megnyúlás és összenyomódásban mutatkozik. Az anyagra kapcsolt feszültség miatt ez a váltakozás folyamatos és ennek következtében rezgőmozgást végez. A kristályok merevsége miatt csak nagyfrekvenciás hangokat vagyunk képesek előállítani. Két részből áll: egy flexibilis hangmembránból és egy piezokerámiából. A hatásfok elég csekély, ezért nem alkalmazzák elterjedten. [4.]

d, Plazmahangszórók:

Alapelvük a plazma folyamatos térfogat változása, amelyet egy nagyfeszültségű generátorral érünk el. Ezt a térfogatkülönbség változást a fülünk hangként érzékel.

Hagyományos membrános hangszóró:

RH1270PRO:

Paraméterek:

- Sávszélesség: 50-60000 Hz-ig
- Teljesítmény: 550 W
- Súly: 7 kg
- Érzékenység: 94 dB
- Impedancia: 8 Ohm



2.ábra: Rh Sound

Indirekt módon rezgetett hangszórók:

Szakdolgozatomban bemutatom az indirekt módon rezgetett hangszórók alkalmazhatóságát különféle szimulációkban és akusztikai mérésekkel is. A rezgető szerepét a SolidDrive SD1G tölti be, de bemutatok más ezen az elven működő eszközt is.

SolidDrive SD1G:

Paraméterek:

- Sávszélesség: 60-15000 Hz
- Súly: 0,54 kg
- Teljesítmény: 10-100 W
- Érzékenység: nincs megadva
- Impedancia: 8 Ohm



3.ábra: SolidDrive SD1G

Sajnos a működési elvéről nem sok információt tudok nyújtani, mert a gyártók teljes titokban tartják.

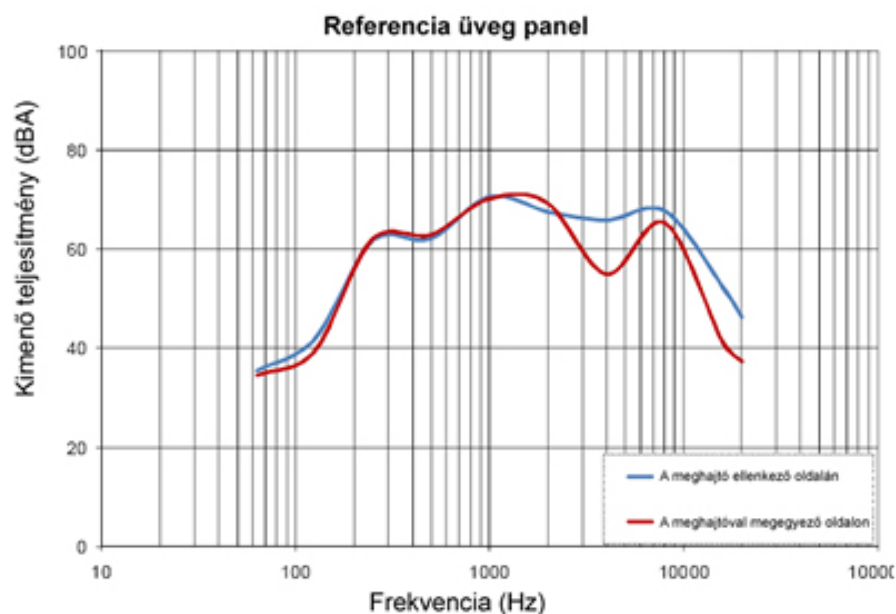
„Hogyan működik: A SolidDrive egy szabadalmaztatott technológiát használ, amely igen nagy teljesítményű neodímium mágnes, kettő szimmetrikusan elhelyezett motor alakít audio jeleket erős rezgésekké, amelyek szilárd felületekkel közvetlen kapcsolatban vannak. Kiváló minőségű, teljes körű, rejtett hangsugárzó, és a teljes felület 60 Hz-15 kHz-ig használható.” [5.]

Nem nagy teljesítményű eszközről van szó, 5-15 W, viszont hatékonyabb a dinamikus hangszóróknál, mivel a teljes felületet rezgésbe hozza, amire felhelyezzük.

Hangszórónak ebben az esetben bármilyen szilárd anyagot alkalmazhatunk, legyen szó fémről, fáról, üvegről, polikarbonátról. Felfüggesztése is többféle módon megvalósítható akár csavarokkal akár ragasztani próbáljuk. A későbbiekben erre bemutatok majd egy pár módszert, amit szimulációval alá is támasztok. Elhelyezése is nagyon praktikus ugyanis egy Tv szobában akár egy gipszkarton fal is kiváló hangzást nyújthat. Kis helyen elfér mivel maga az eszköz nem nagy. A hagyományos hangszórók 3 dB/méter veszteséggel üzemelnek ezzel szemben az indirekt módon rezgetett hangszórók akusztikus vesztesége nagyon kicsi. Ennek oka, hogy nem egy pontból terjed a hang, hanem a teljes felület hangszugárzóként üzemel ezért akár 5 méterről sem lehet megállapítani, hogy honnan szól a hang. Leginkább tömegközlekedési állomásokon alkalmazzák ahol nagy a zaj és pontosan kell az információt az embereknek eljuttatni, ilyenek például a vasútállomások buszpályaudvarok, repterek stb.

FeONIC F4

A hagyományos hangszórókkal ellentétben egy nagy energiájú magnetostrikciós intelligens anyagot (Terfenol-D) alkalmaznak hangkeltéshez. Az eszközben kialakított mágnesen tér miatt gyorsan és nagy erővel változtatja az alakját, emiatt a hangzó anyagot rezgésbe hozza. Tisztább, érthetőbb hangot tudunk vele létrehozni, mint egy hagyományos membrános hangszóróval.



4.ábra:Referencia üveg panel

Műszaki tulajdonságok:

Impedancia:	4 ohm
Gerjesztő tekercs:	2 utas tekercselés, elektronikus védelemmel ellátva
Működési hőmérséklet:	-20°C és + 80°C között*
Tárolási hőmérséklet:	-20°C és + 100°C között*
Súly:	370g
Méret:	76,5mm x 46mm x 26mm
Rögzítés módja:	3M ragasztó szalag vagy opcionális rögzítő lemez csavarokkal
Erősítőhöz való csatlakozás:	1,5 méter lengő kábel
Maximális teljesítmény felvétel:	20W
Érzékenység(1) üvegen(2):	63dBA (a forrástól 1 méterre)
Érzékenység(1) MDF lapon(3):	67dBA (a forrástól 1 méterre)
Frekvencia átvitel:	100Hz – 20.000Hz
Hangnyomás szint(4) üvegen(2):	89dBA (SPL 85dBA) 1kHz 1méter távolságról
Hangnyomás szint(4) MDF lapon(3):	89dBA (SPL 85dBA) 1kHz 1méter távolságról
Beszéd átviteli index:	0.60 – 0.75
Átlagos érthetőségi szint(5):	0.78 – 0.88
Környezeti hatásoktól való védelem:	nedvesség álló**

(1)A mérés alapja 1 wattal kisugárzott 1kHz-es szinusz hullám.

(2)Az üveg felület mérete 10 mm x 1m x 1m.

(3) Az MDF panel mérete 18mm x 1m x 1m. (4)Maximális hangnyomás szint (SPL) mérésének alapja a felületre rögzített hangkeltő 1kHz-es szinusz hullám kibocsátása, mielőtt még az elektronika leszabályozna. (5)STI/CIS értékek, az IEC szabvány 60268-16 alapján. Átlagos érték, amely a felhasznált felületről is függ.

* Magasabb hőmérsékleten is működő modelleket egyedi megrendelésre tudunk szállítani.

** Víz alá nem meríthető.



5.ábra: Feonic F4

Főbb tulajdonságok: „Plug and Play”; magas kimenő teljesítmény; széles frekvencia tartomány; időtálló technológia; hosszú élettartam (nincs mozgó alkatrész); nem szükséges hangszóró védő rács; precíz kontrollálhatóság; széles működési hőmérséklet tartomány; érzéketlen a nedvesség okozta károokra; mono, sztereó, 2.1/5.1/7.1/9.

[6.]

Szimulációs eredmények

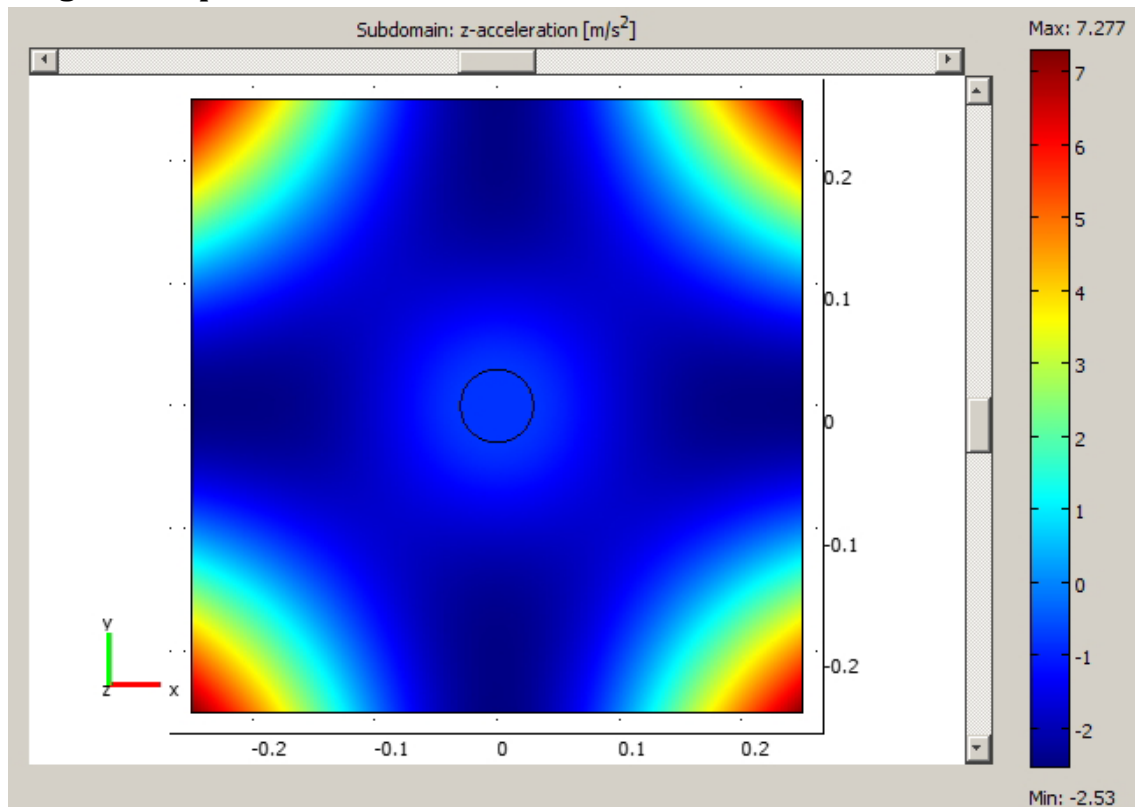
Rezgések szimulációja

A rezgés szimulációkat 4 különböző frekvencián fogok alkalmazni: 300,1000,3000 és 10000 Hz-en. Lesznek olyan esetek, ahol ezektől eltérő frekvencián végzem el szimulációt, de azoknál külön kitérek az okára. A szimulációk minden esetben 50x50x0,6 paraméterű üveglapon végzem. Az ábrákon a pozitív kitérést a piros szín jelképezi, míg a negatív irányú eltérést a kék reprezentálja. A színskálákat nem lehet módosítani a programban az mindig az adott mérés hatására változik, ezért van az, hogy néhol a kék közel nullát ad, míg más ábrákon a világoszöld jelenti a nullát. Ha például nagy a pozitív irányú eltérés, mint például az első ábrán akkor a piros nem lehet erősebbre venni ezért a világoskék átveszi a nulla szerepét, hogy meg tudjuk különböztetni a pozitív irányú erős kitérést.

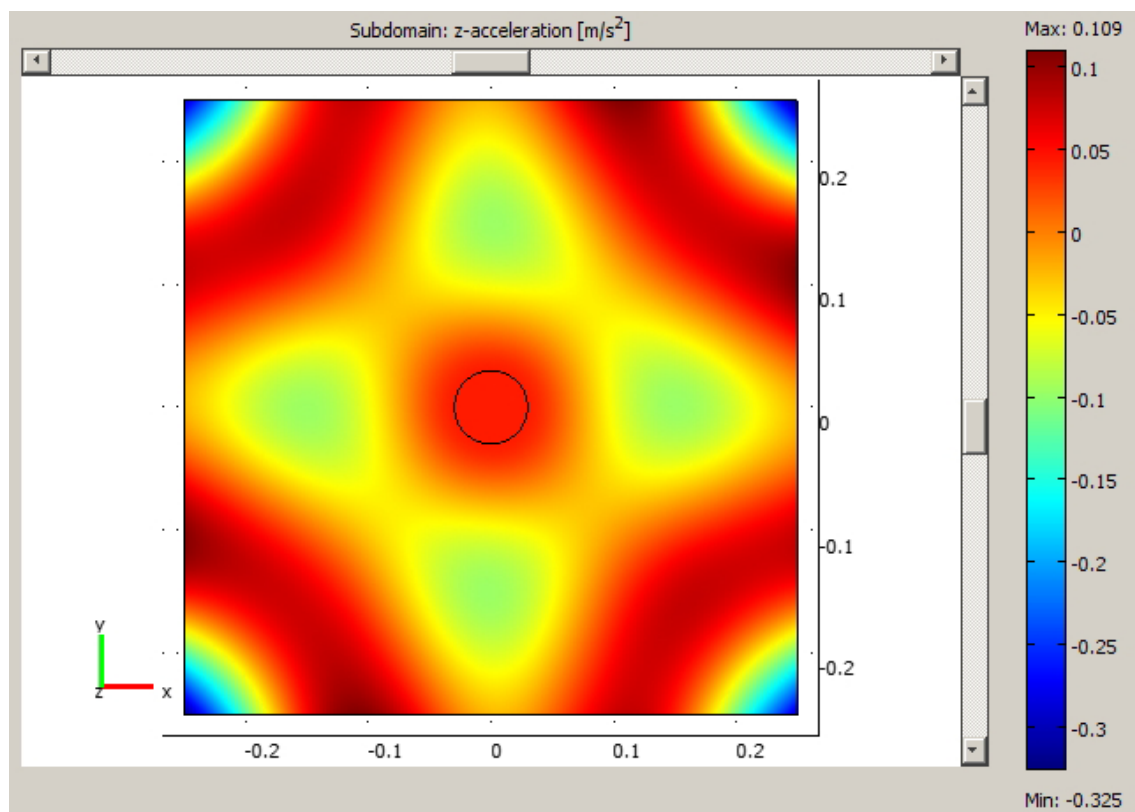
A rezgető elhelyezésének szerepe

A rezgésszimulálás folyamán 7 különböző pozíció szerint végeztem szimulációkat. Először a rezgetőt az üveglap közepén helyeztem el. Az alábbi eredményeket kaptam eredményül.

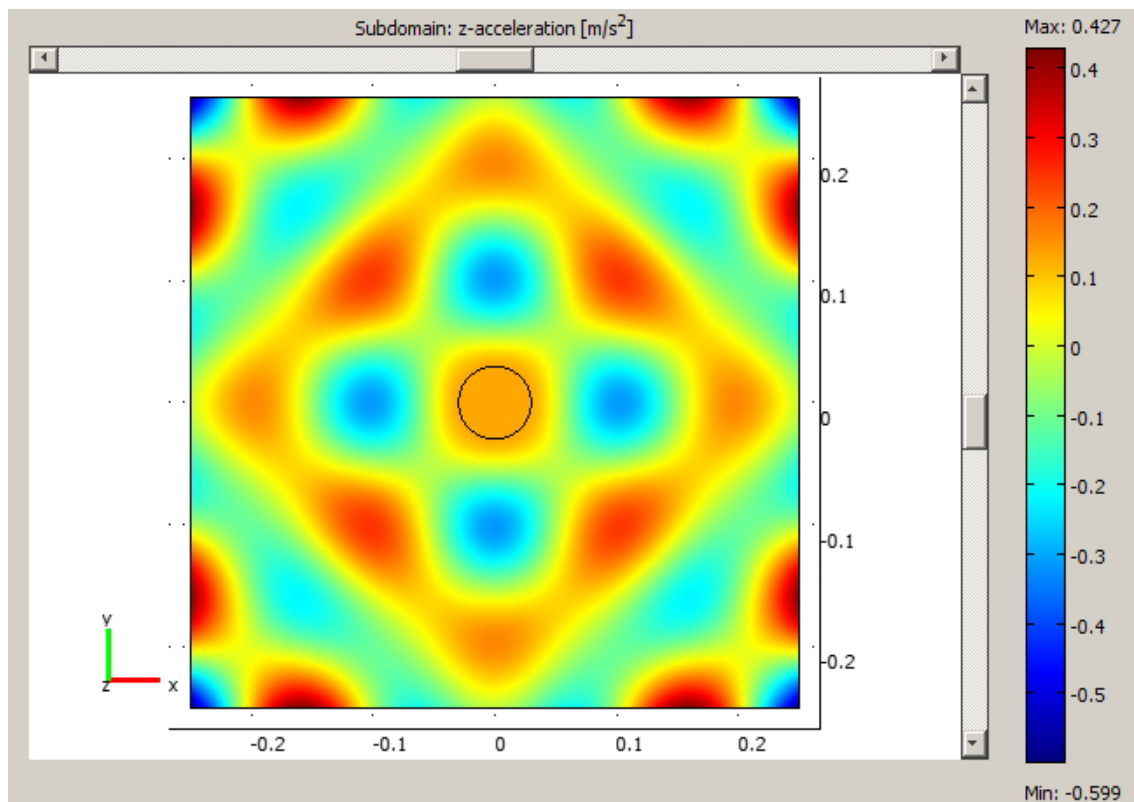
Rezgető közepső állása



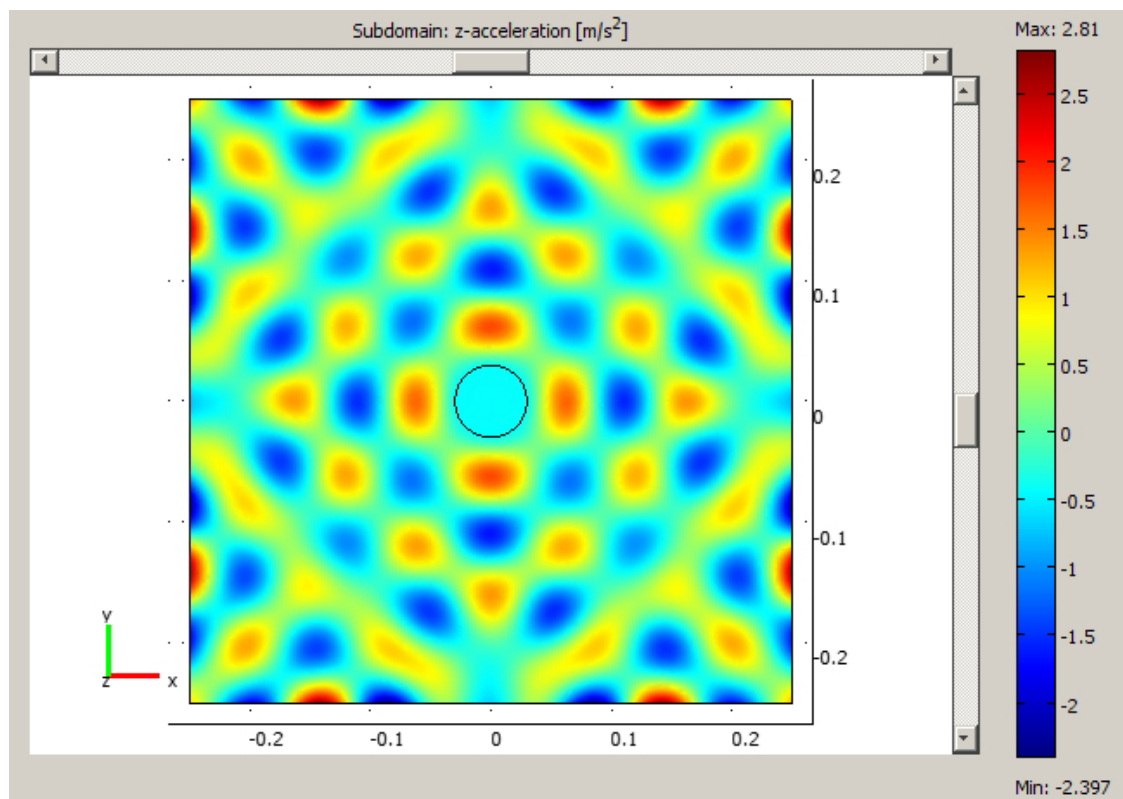
6.ábra: Rezgető közepső állása, 300 Hz-en.



7.ábra: Rezgető közepső állása, 1 kHz-en.



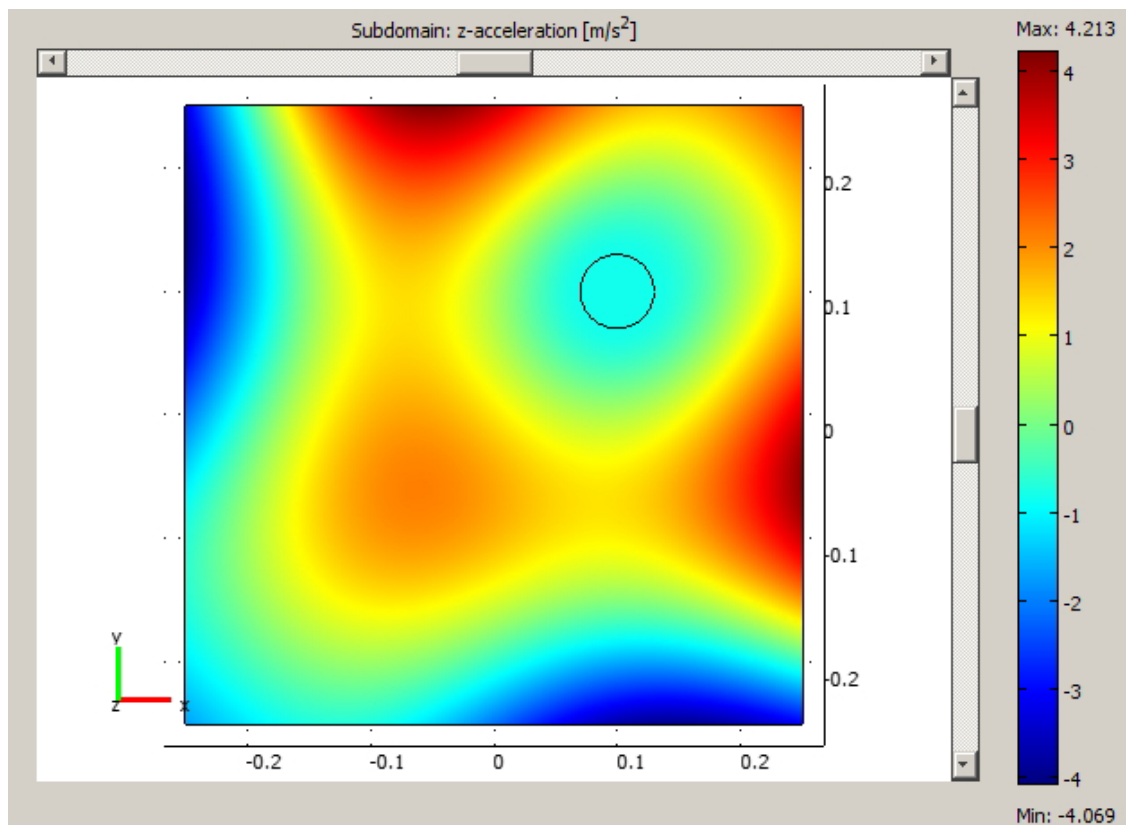
8.ábra: Rezgető közepső állása, 3 kHz-en.



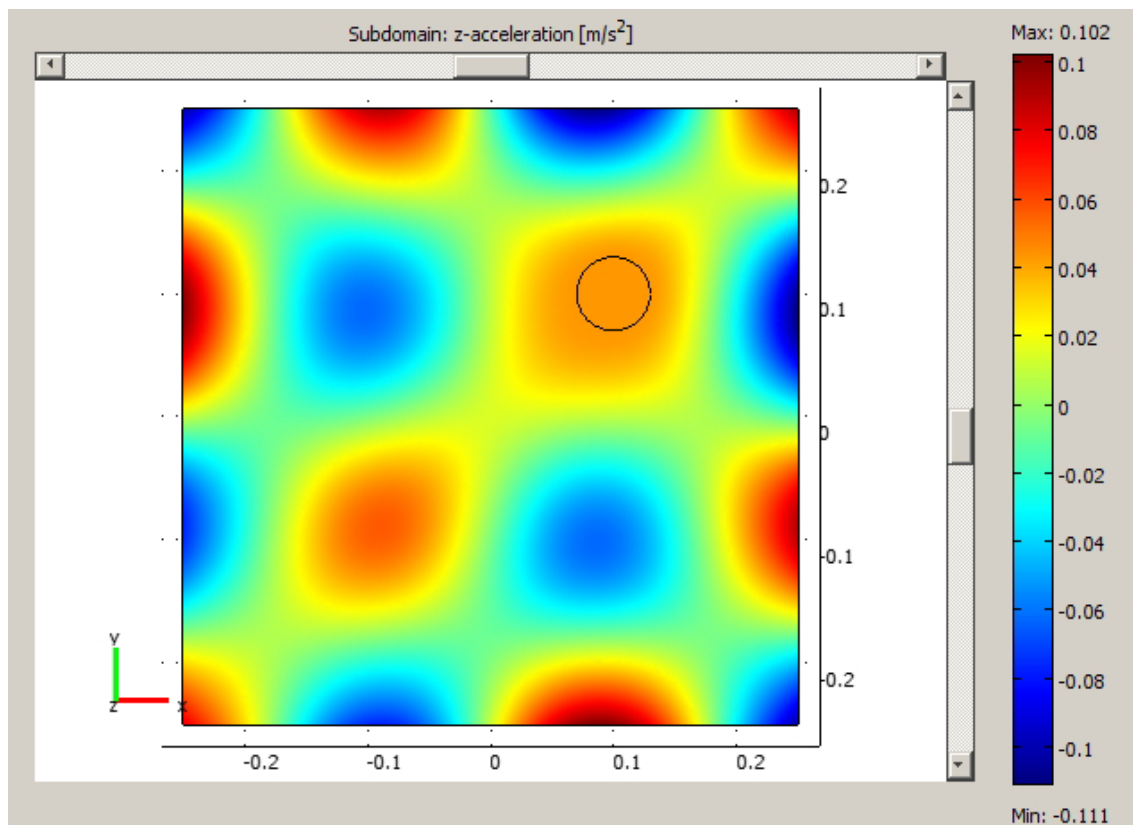
9.ábra: Rezgető közepső állása, 10 kHz-en.

Az ábrákon a rezgető helyzetét fekete kör illusztrálja. A szimulált eredmények alapján azt a következtetést lehet levonni, hogy 300 Hz-en a rezgető közelében 0 dB körüli a kitérés, míg a 4 saroknál közel 7 m/s^2 amplitúdójú. 1 kHz-től felfelé egyre kisebb különálló területek alakulnak ki az üveglapon.

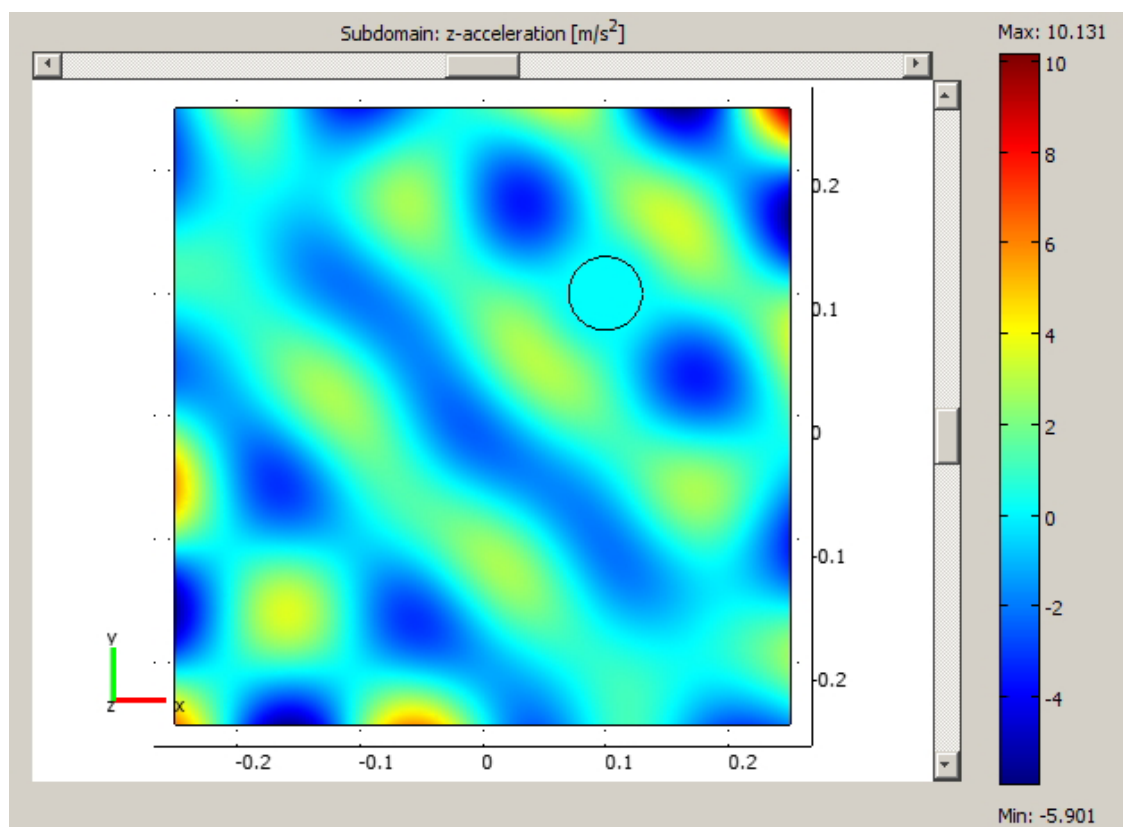
Rezgető átlós irányú eltolása



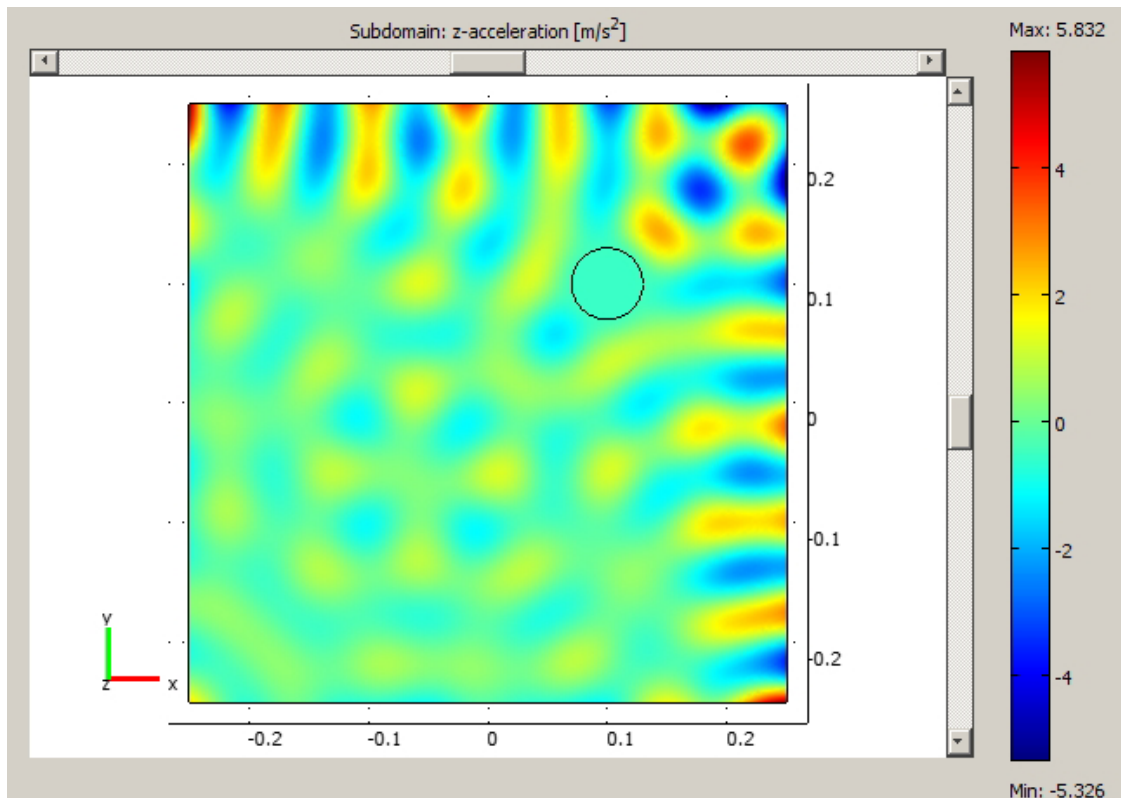
10.ábra: Rezgető eltolt állapota, 300 Hz-en.



11.ábra: Rezgető eltolt állapot, 1 kHz-en.



12.ábra: Rezgető eltolt állapot, 3 kHz-en.

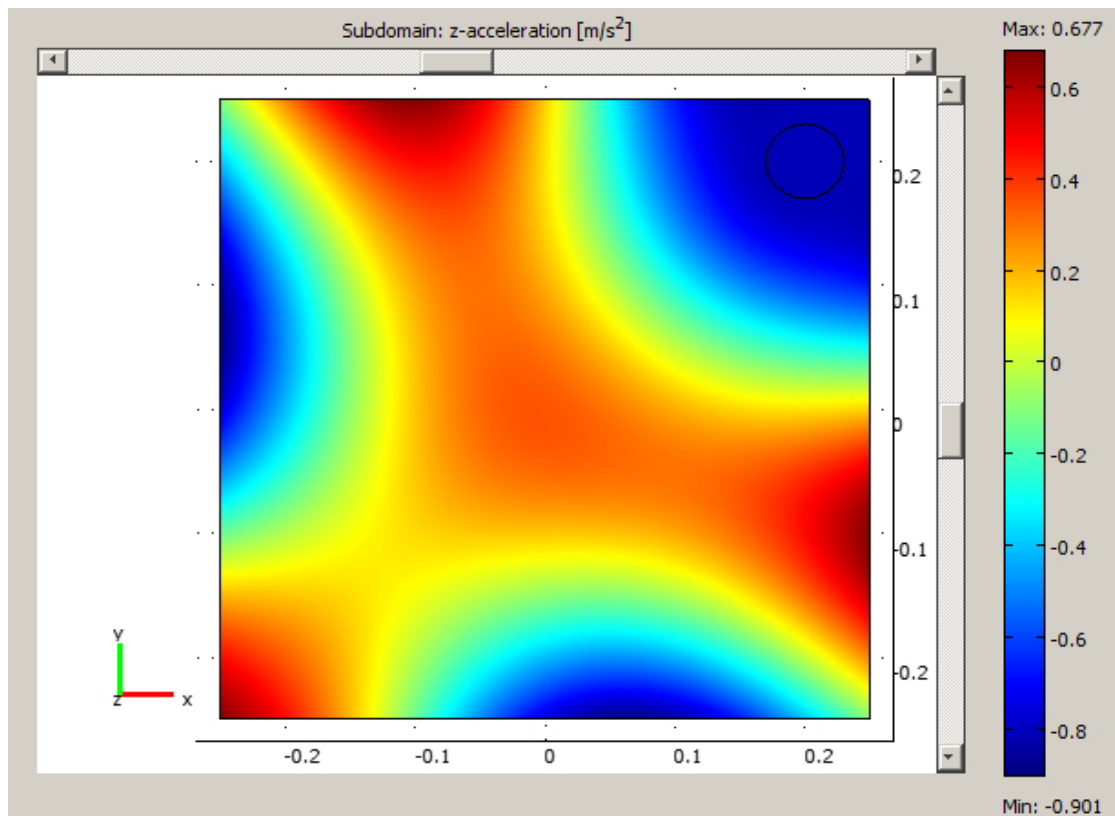


13.ábra:rezgető eltolt állapota, 10 kHz-en.

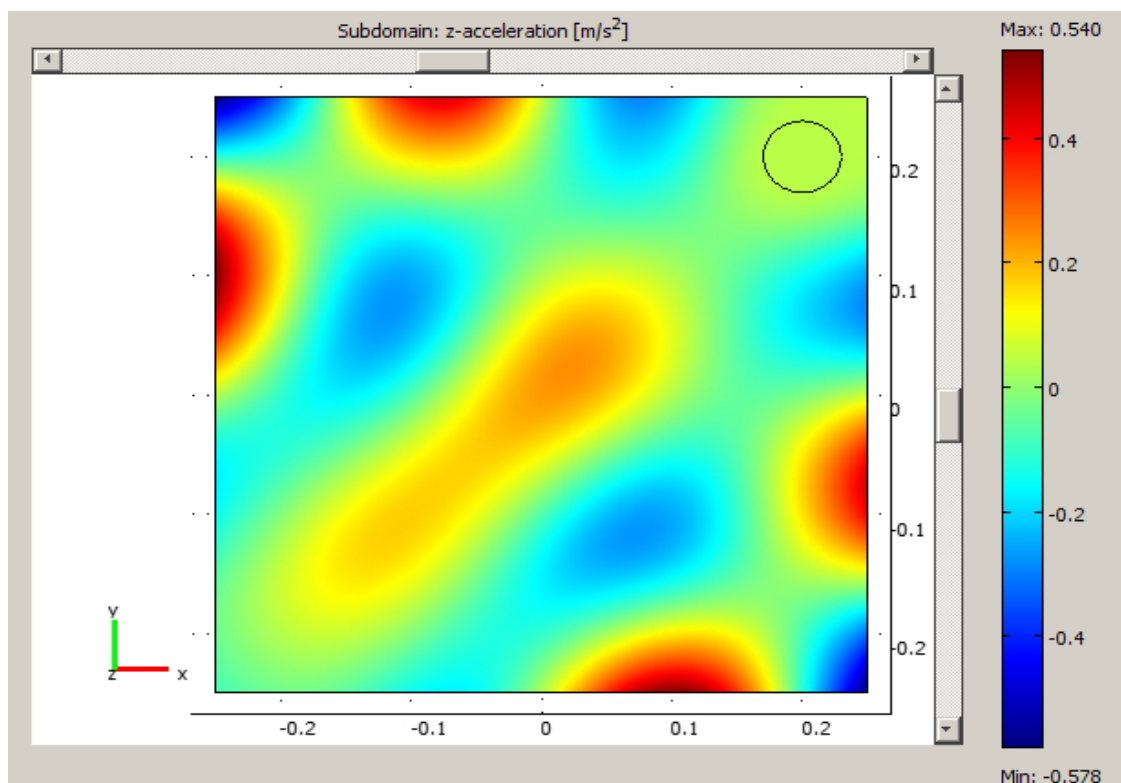
A rezgető pozícióját átlósan helyeztem arrébb a jobb felső sarok irányában. A rezgési kép nagyban megváltozott, de a frekvenciafüggés továbbra is fennáll. Ha nem az üveglap középpontjában van a rezgető elhelyezve, akkor 300 Hz-en már jobb kitérések érhetőek el. 10 kHz-en pedig közel 0 az amplitúdó. Tehát itt a magasabb frekvenciájú hangok nem hozzák annyira rezgésbe az üveglapot.

Rezgető átlós irányban a sarokba

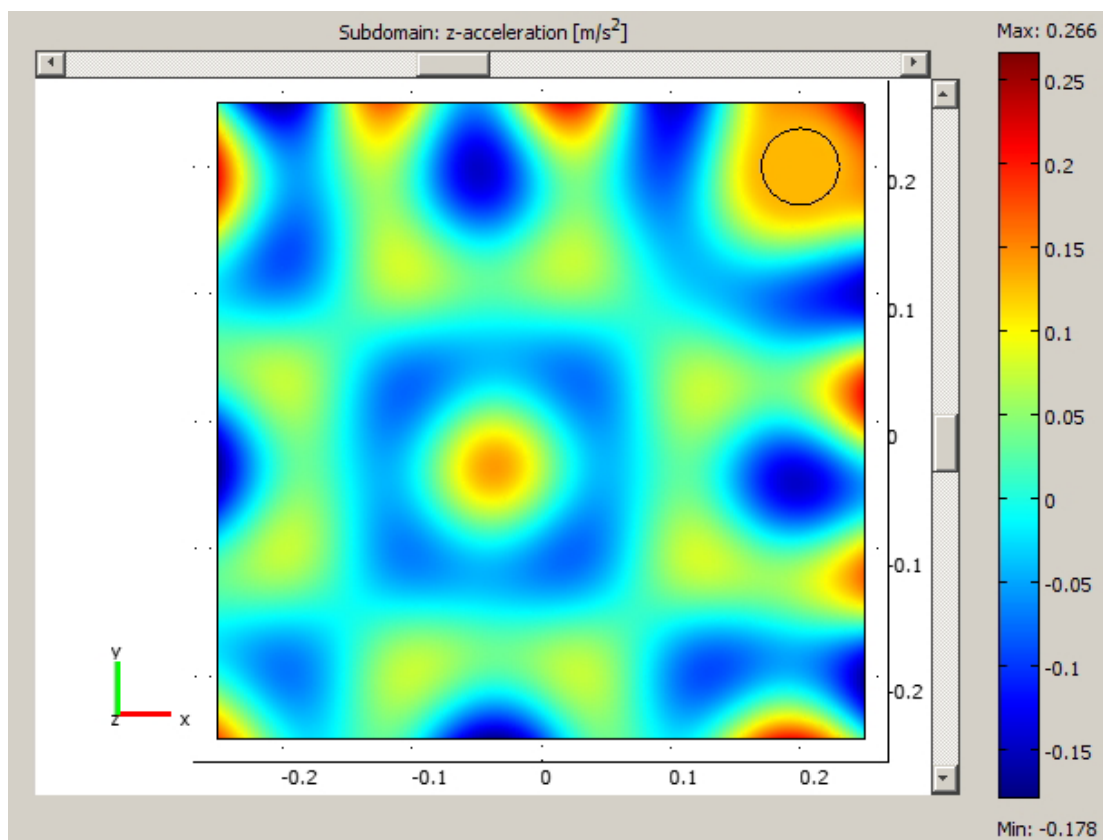
téve:



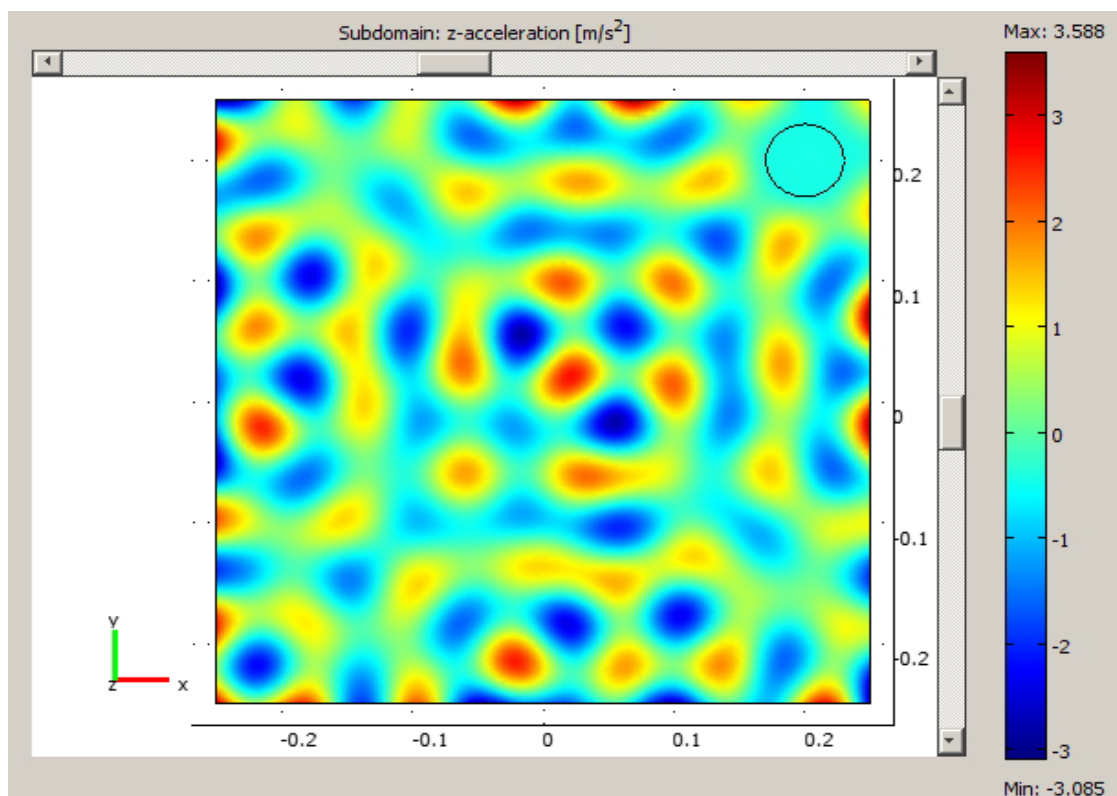
14.ábra: rezgető a sarokban, 300 Hz-en.



15.ábra: rezgető a sarokban, 1 kHz-en.



16.ábra: rezgető a sarokban, 3 kHz-en.



17.ábra: rezgető a sarokban, 10 kHz-en.

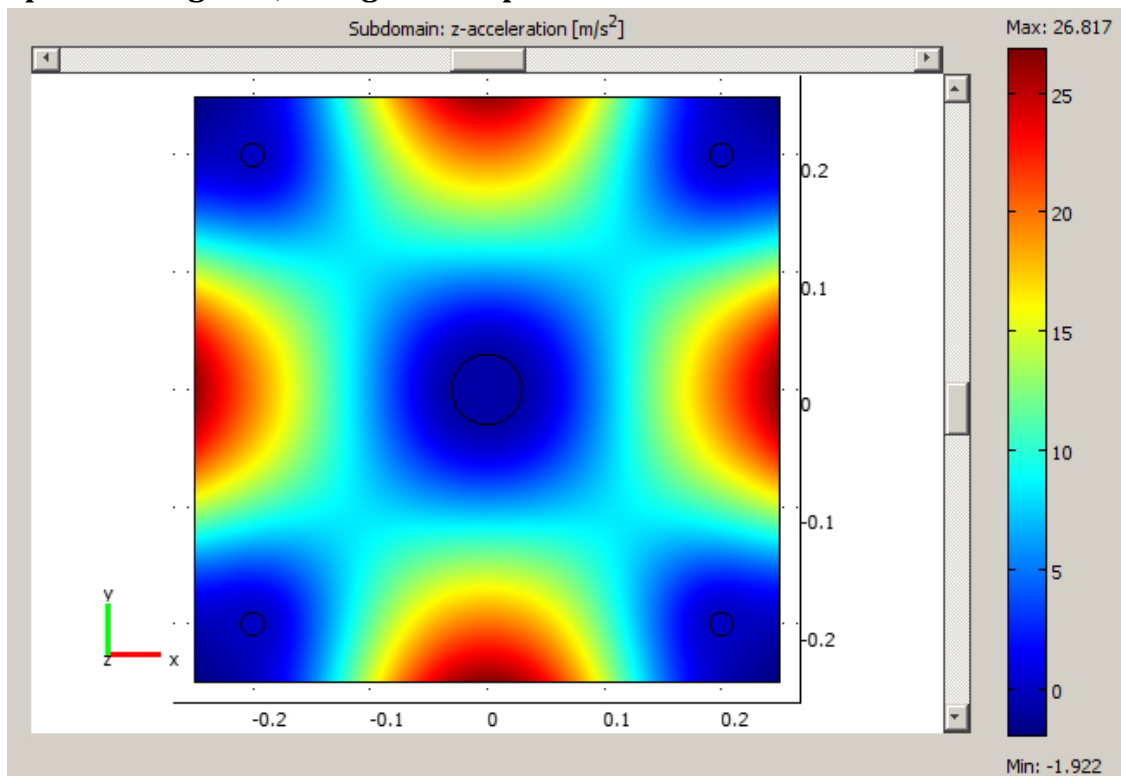
A rezgetőt átlósan tovább közelítve a sarok ponthoz azt vehetjük észre, hogy az üveglapot már 10kHz-nél is teljesen kihasználja. A frekvencia növekedésére is, hasonlóan reagált a hangzó anyag. Skripek Péter szakdolgozata alapján pedig kiderült, hogy anyagi függés nincs, tehát bármilyen szilárd anyag ugyan úgy reagál a SolidDrive hatására. Végül a rezgésmérések alapján (lefogatás nélkül) azt a következtetést tudom levonni, hogy a rezgető elhelyezésének nincs szerepe ugyanis mindegy hová helyezem el. A teljes rendelkezésre álló felületet kihasználja.

A felfüggesztés szerepe rezgésmérések alapján

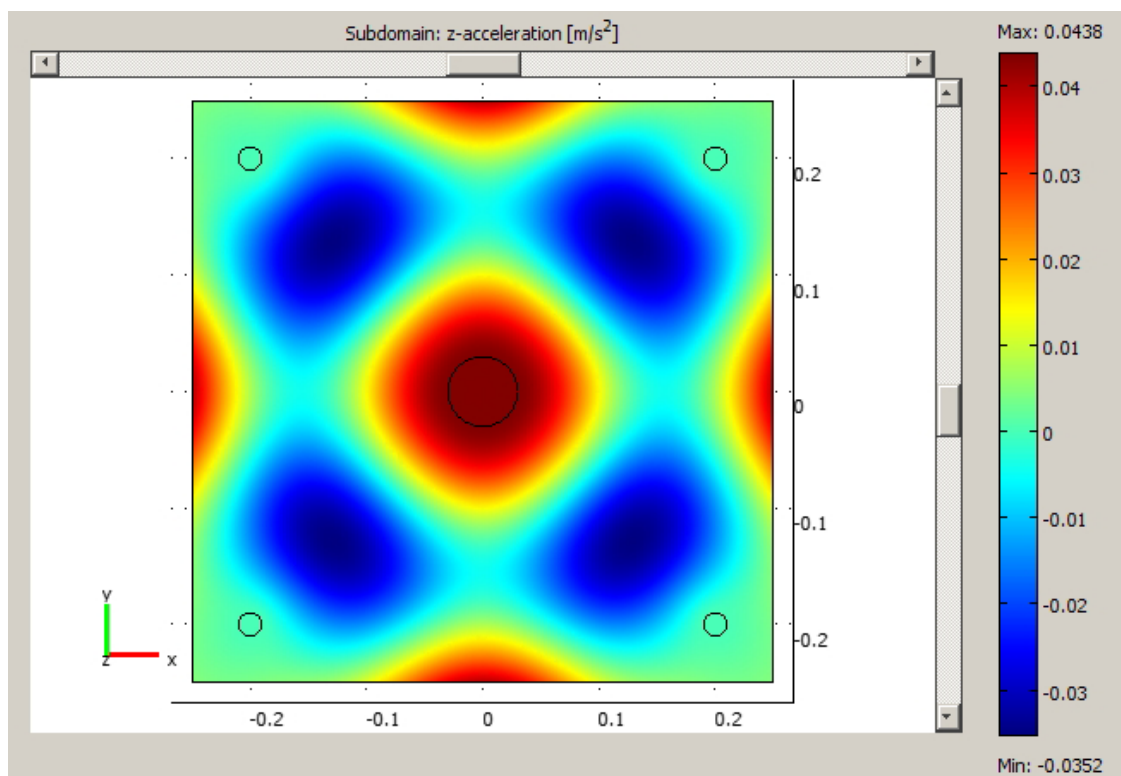
Első felfüggesztési módszer

A felfüggesztést kétféle képen próbáltam megvalósítani. Az első verzióban a négy sarkánál fogattam fel a hangzó anyagot. A második verzióban pedig keretbe foglaltam. A felfogató anyag mindkét esetben fém. Az ábrákon a nagy kör jelképezi a Solid Drive-ot, a kis körök pedig a felfüggesztés helyét. Lehetett volna még próbálkozni egy sarkánál felfogatni vagy más egyéb megoldással, de gondolnunk kell az üveg törékenységére is, ami kivitelezés szempontjából nem mindegy. Fontosak a környezeti hatásokra (szél, emberi figyelmetlenség) gondolni, mert ha nem megfelelően helyezzük el az eszközt, az a későbbiek folyamán rengeteg problémát okozhat.

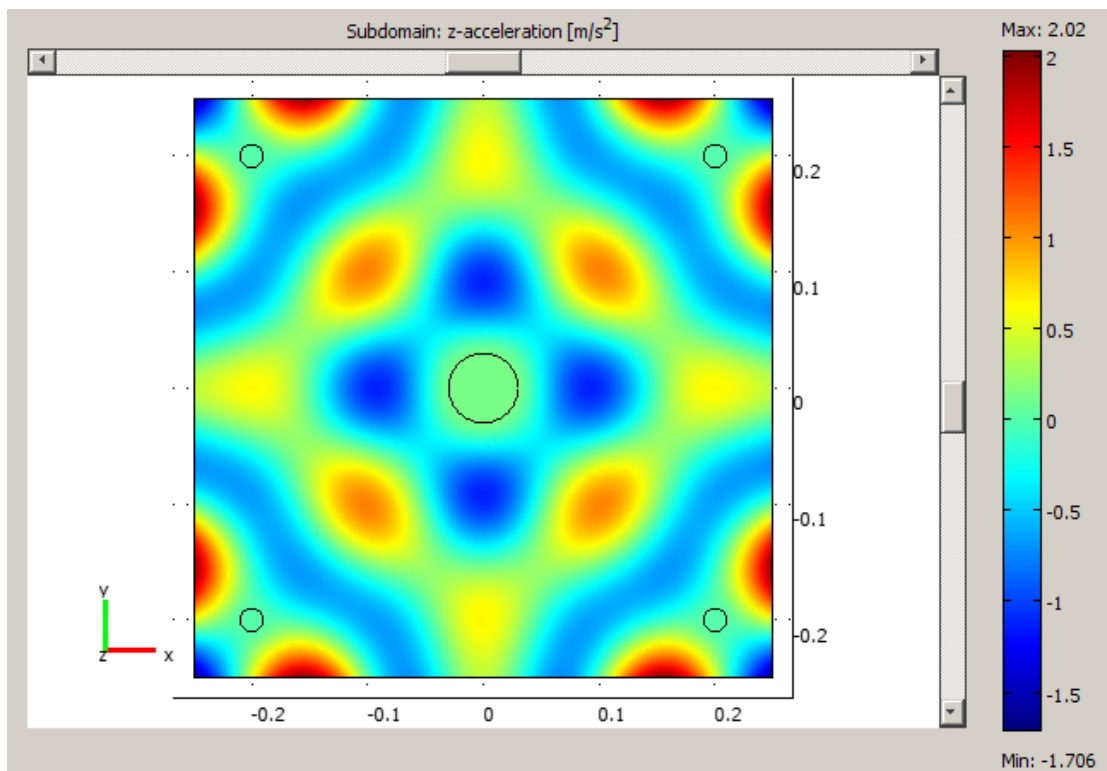
4 pontban rögzítve, a rezgető középső állása mellett



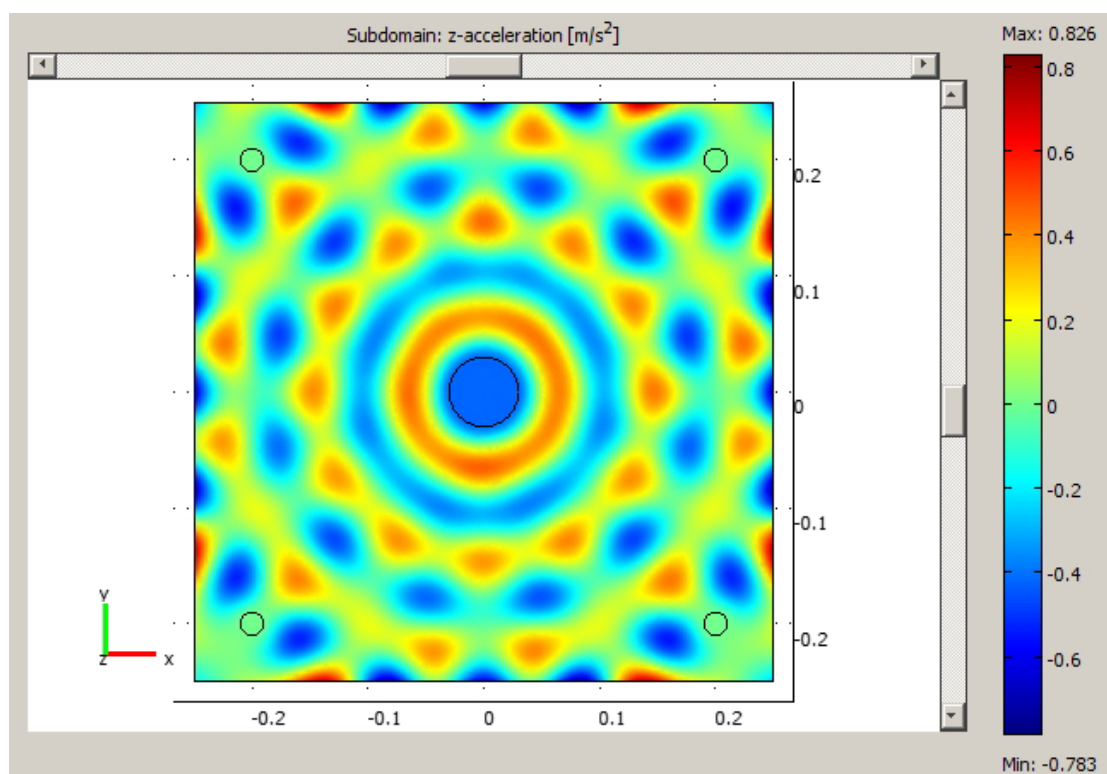
18.ábra: rezgető középén/ 4sarokban lefogatva, 300 Hz-en.



19.ábra: rezgető középén/ 4sarokban lefogatva, 1 kHz-en.



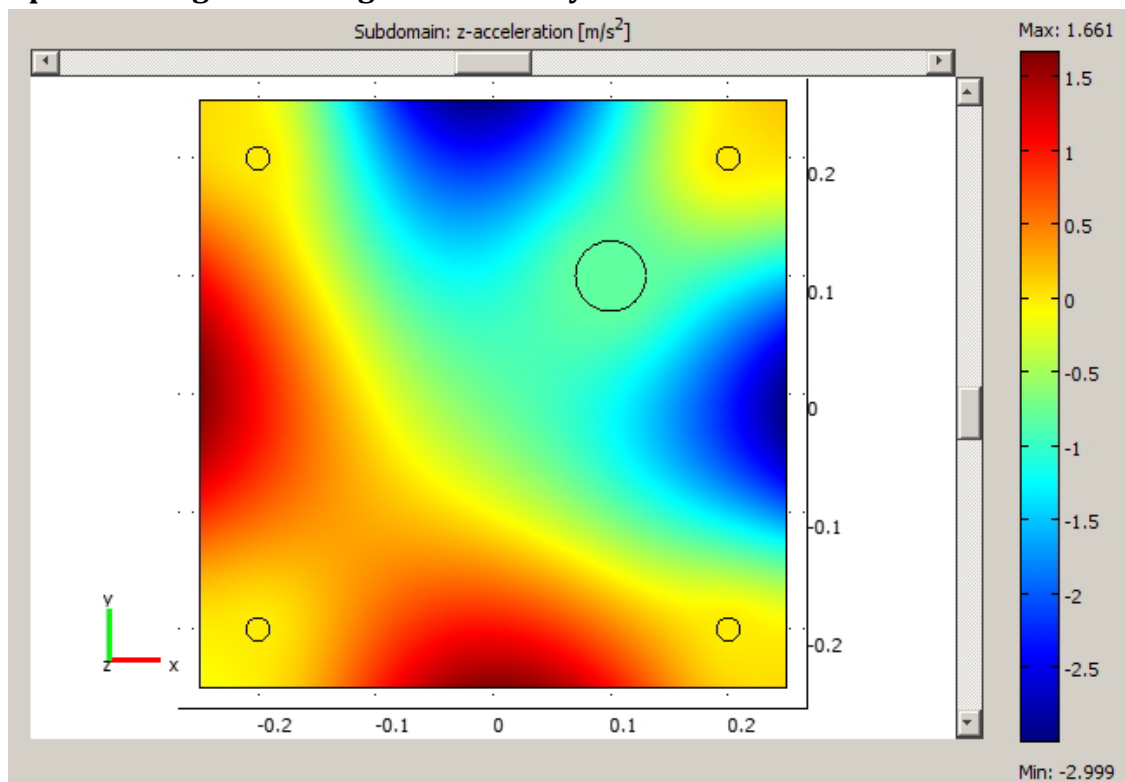
20.ábra: rezgető középén/ 4sarokban lefogatva, 3 kHz-en.



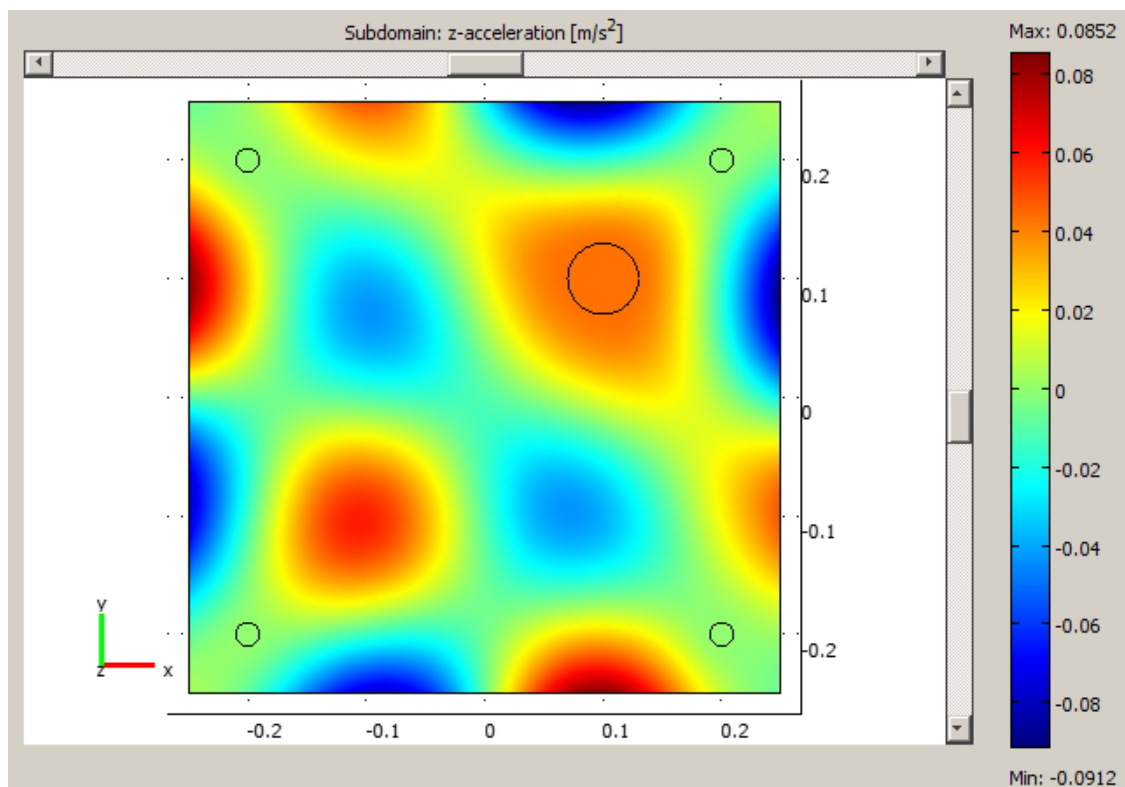
21.ábra: rezgető középén/ 4sarokban lefogatva, 10 kHz-en.

A négy felfüggesztési pontban jól látható, hogy a rezgésbe hozás általi kitérés 0, ez magától értetődő, hiszen stabilan fogatjuk fel az üveglapot. A felfüggesztés hatására azt mondhatom, hogy a 300 Hz-es ábra kivételével a kitérés szintje csökkent. A 300 Hz-es szimulációk között azt látom, hogy pozitív irányban, nagymértékben kitért. Ezen szimulációk alapján is azt mondhatom, hogy a Solid Drive az alacsonyabb frekvenciájú hangoknál nagyobb kitérést mutat, jobban megrezegteti az üveglapot. A következőben megvizsgálom a rezgető átlós irányú eltolását a lefogatott módszernél is. Itt csak egy eltolási szimulációt végzek ugyanis a második eltolás az egyik sarokponti felfüggesztéshez esne, ezért ezt a való életben nem lehetne kivitelezni.

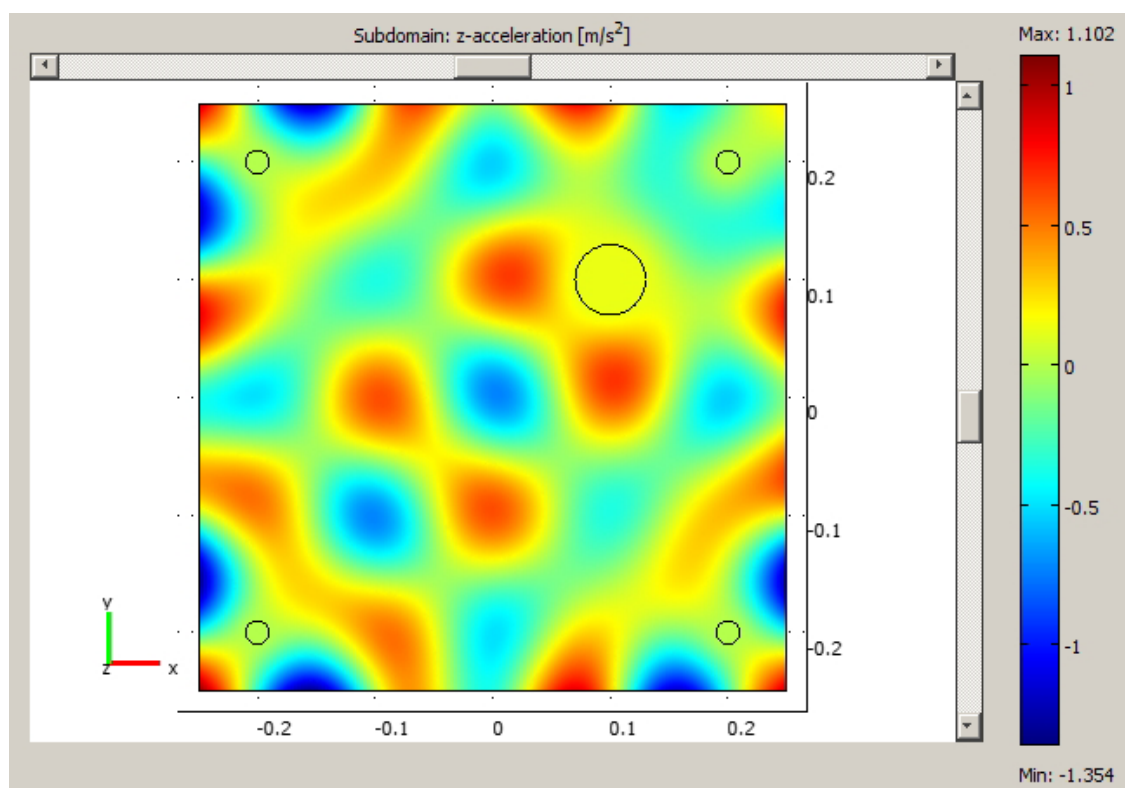
4 pontban rögzítve a rezgető átlós irányú eltolása mellett



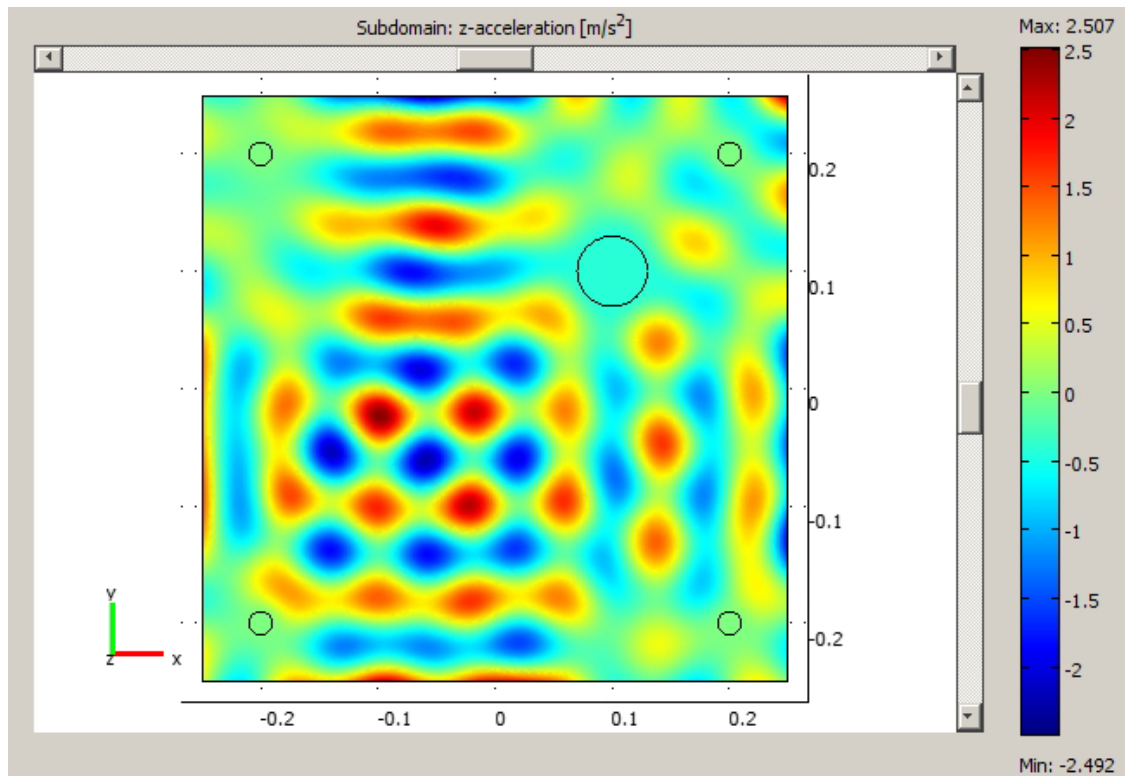
22.ábra: rezgető eltolva/négy sarokban lefogatva, 300 Hz-en.



23.ábra: rezgető eltolva/négy sarokban lefogatva, 1 kHz-en.



24.ábra: rezgető eltolva/négy sarokban lefogatva, 3 kHz-en.



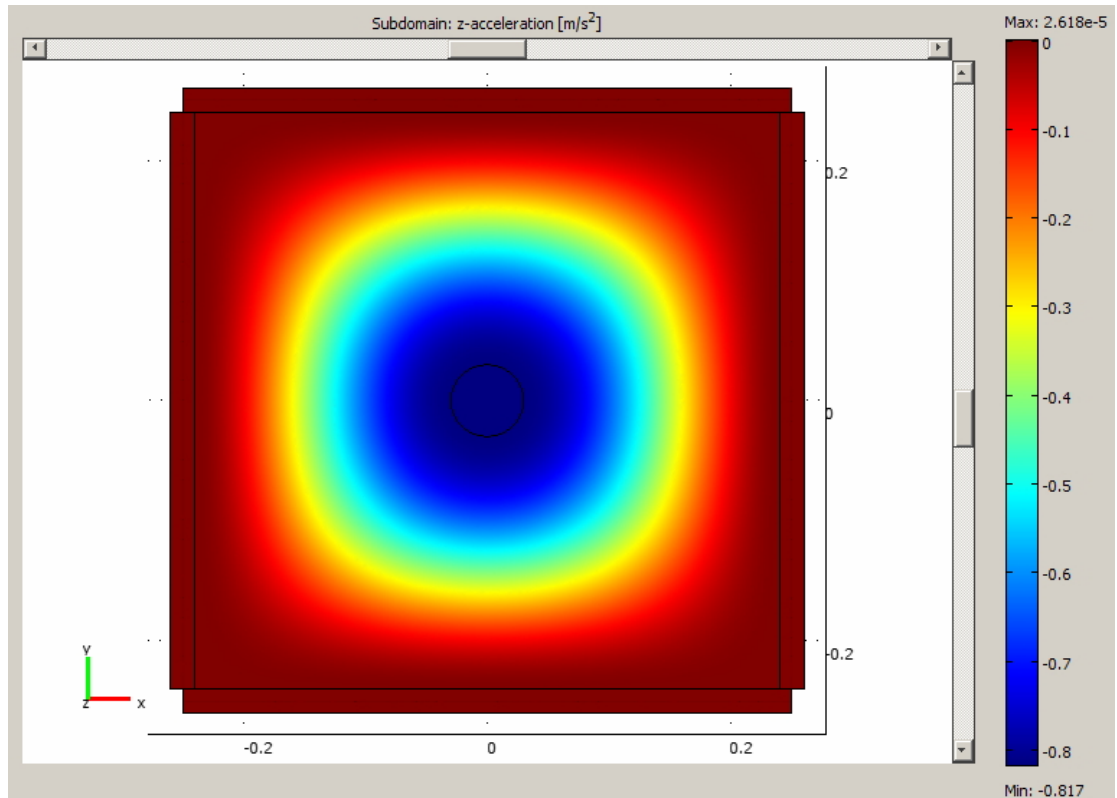
25.ábra: rezgető eltolva/négy sarokban lefogatva, 10 kHz-en.

Az előbbi ábrákon is az vehető észre, hogy a nagyobb frekvenciákon kevésbé mutatkozik olyan erősségű rezgés, de a 4 saroknál lefogatott ábránál már nincs jelentősége a rezgető elhelyezésének.

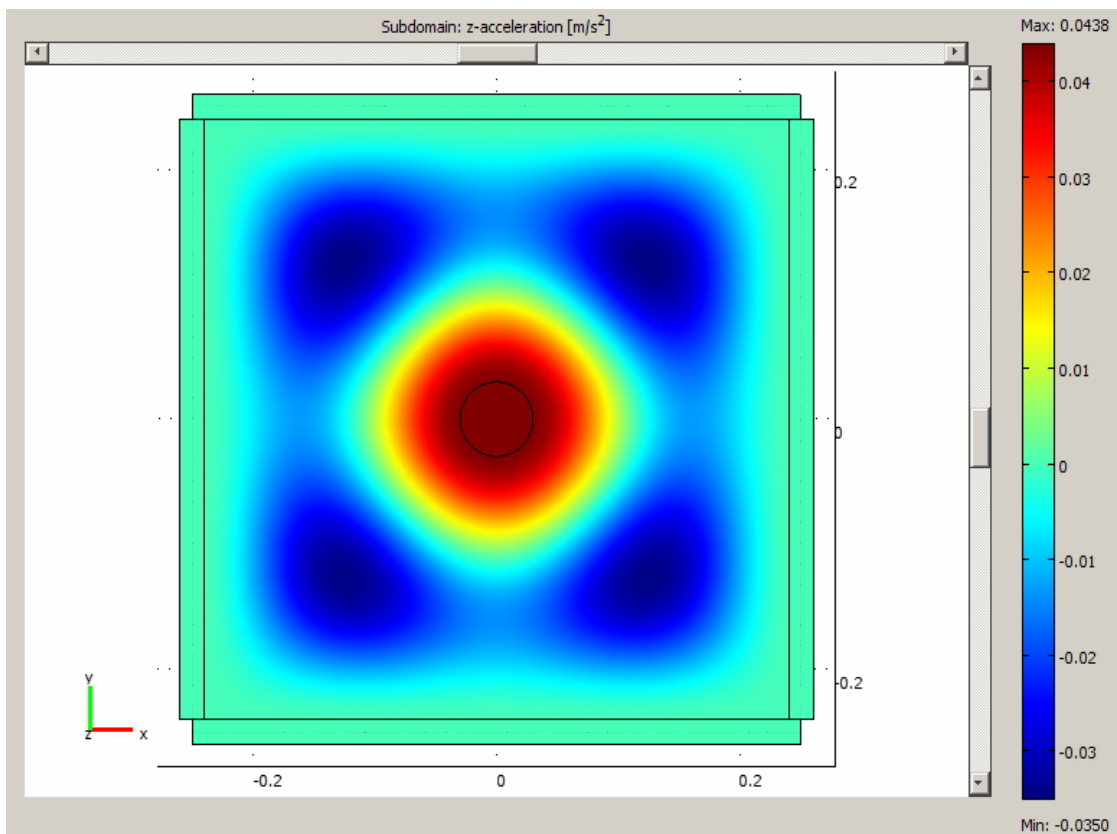
Második felfüggesztési módszer

Ennél a felfüggesztésnél keretbe van befogatva az üveglap. A keret anyagát fémnek vettem. Az üveglapot alul és felül is körbeveszi a keret.

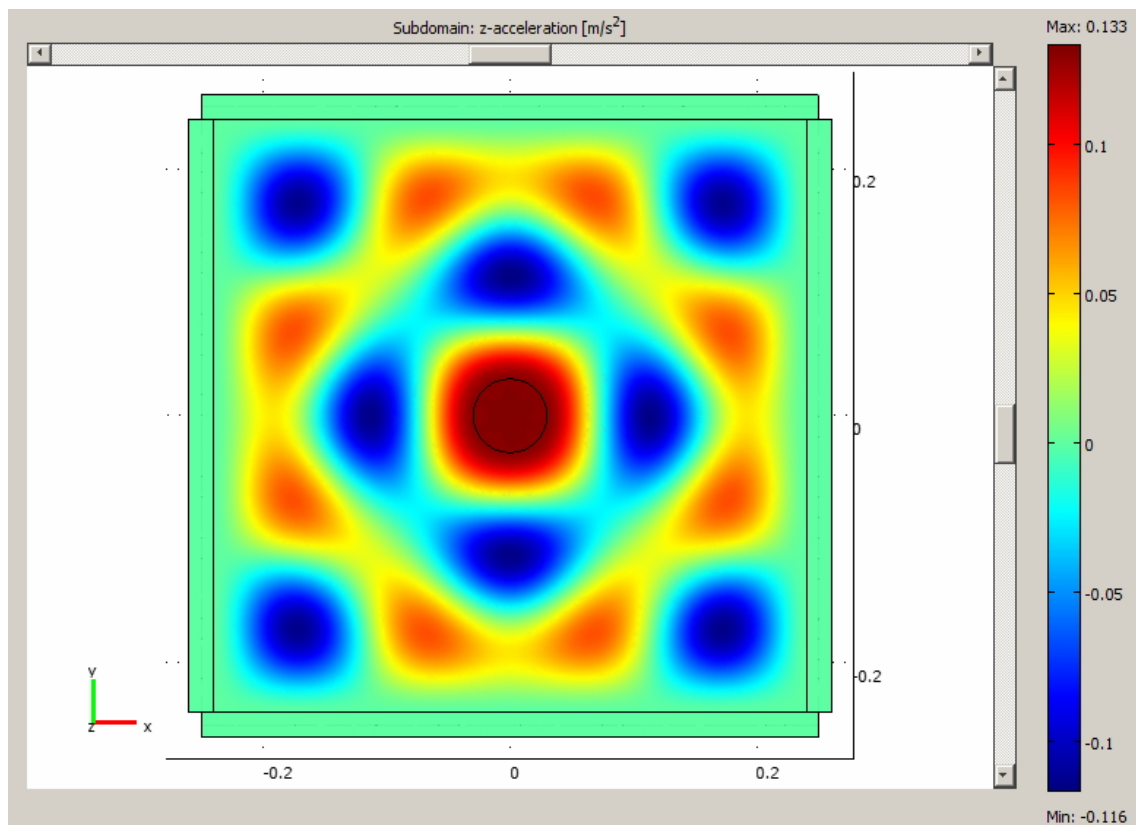
Keretbe fogva, rezgető középső állása mellett



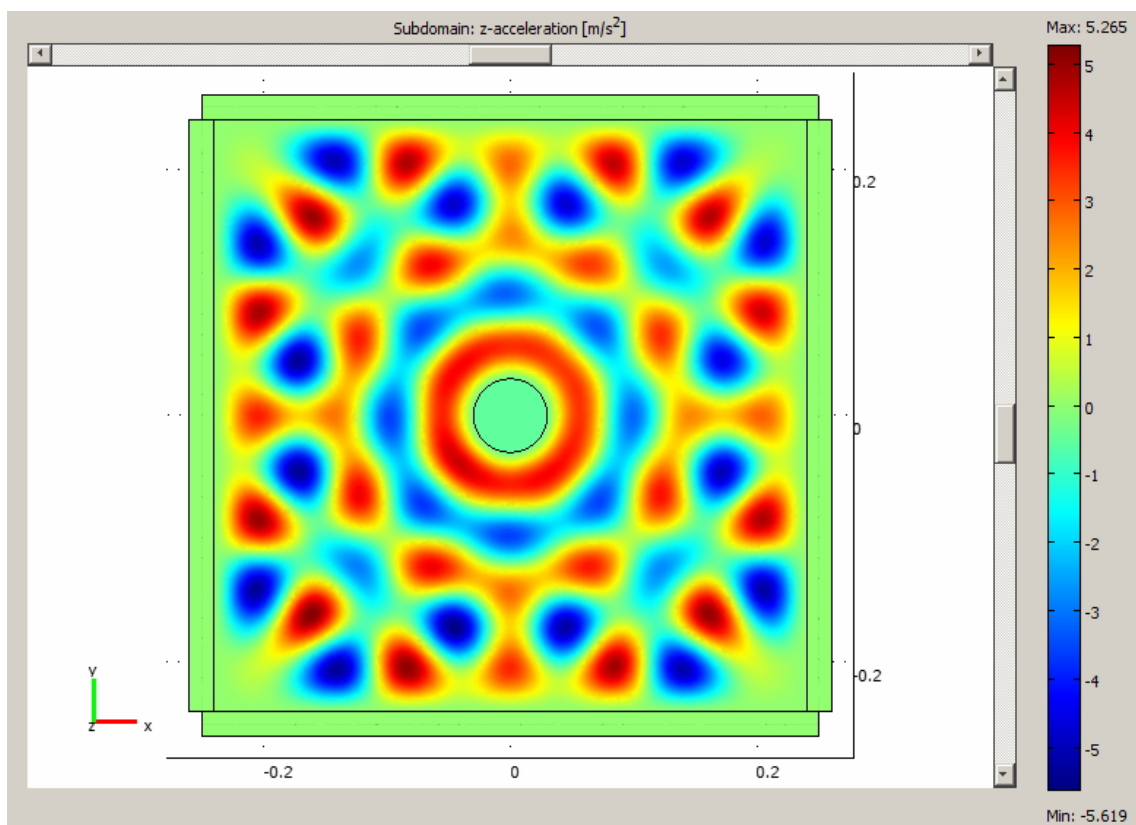
26.ábra: rezgető közepén elhelyezve/ keretbe fogva, 300 Hz-en.



27.ábra: rezgető közepén elhelyezve/keretbe fogva, 1 kHz-en.



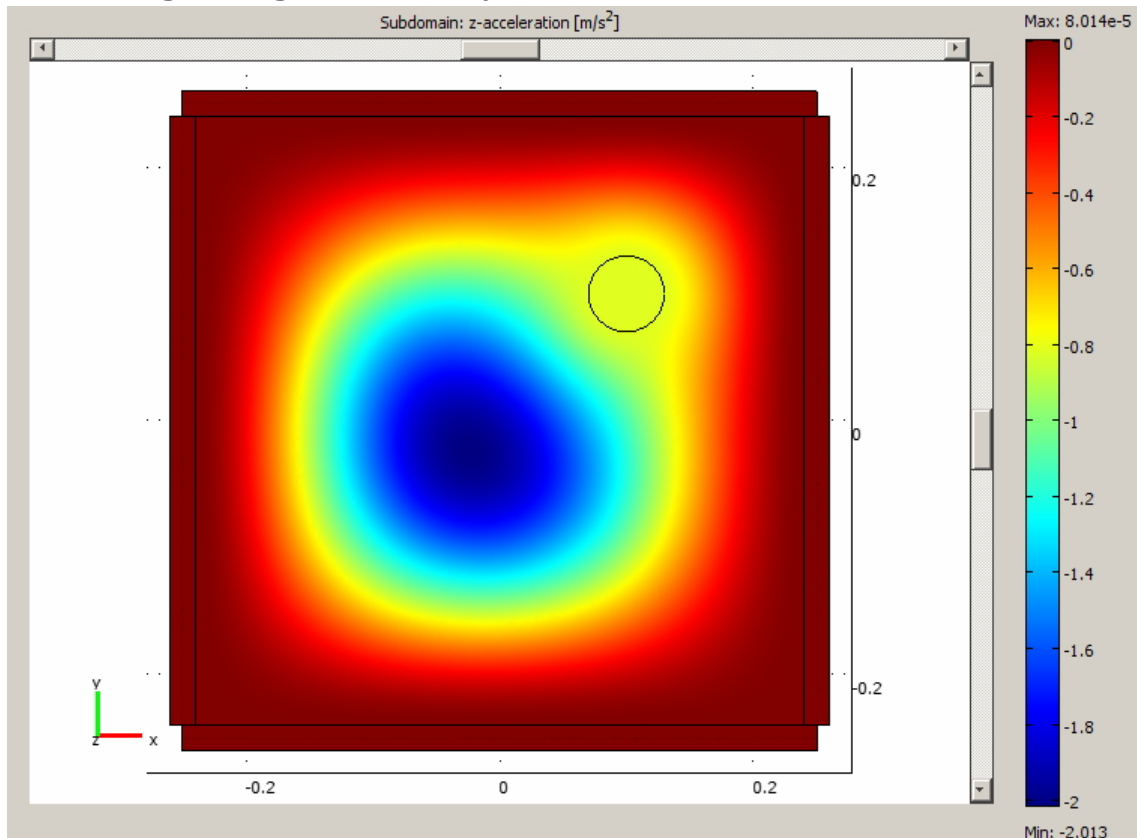
28.ábra: rezgető középén elhelyezve/keretbe fogva, 3 kHz-en.



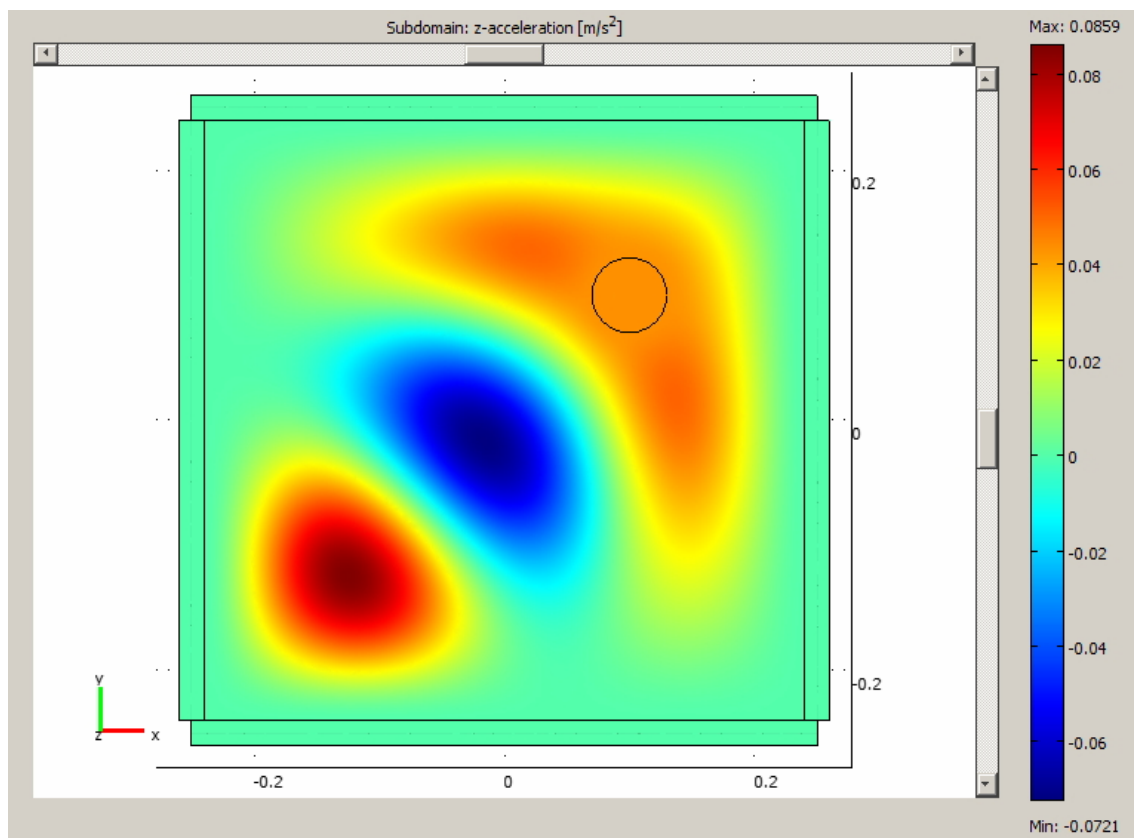
29.ábra: rezgető középén elhelyezve/keretbe fogva, 10 kHz-en.

Az előbbi ábrákon látható, hogy a keretbefogás közelében nincs rezgés ennek oka, mint eddig is, hogy fixen van lefogatva a rezgő anyag. A legnagyobb kitérés a rezgető körül alakul ki, leginkább a 300 Hz-es ábrán láthatjuk. Ez is a stabil keretbe foglalásnak köszönhető, ugyanis a rezgő felület peremén stabil állapot van és a rezgető, ha ki ad egy bármilyen frekvenciájú hangot, jobban kitér a szélekhez képest. A széléhez közeledve pedig a csillapítás növekszik.

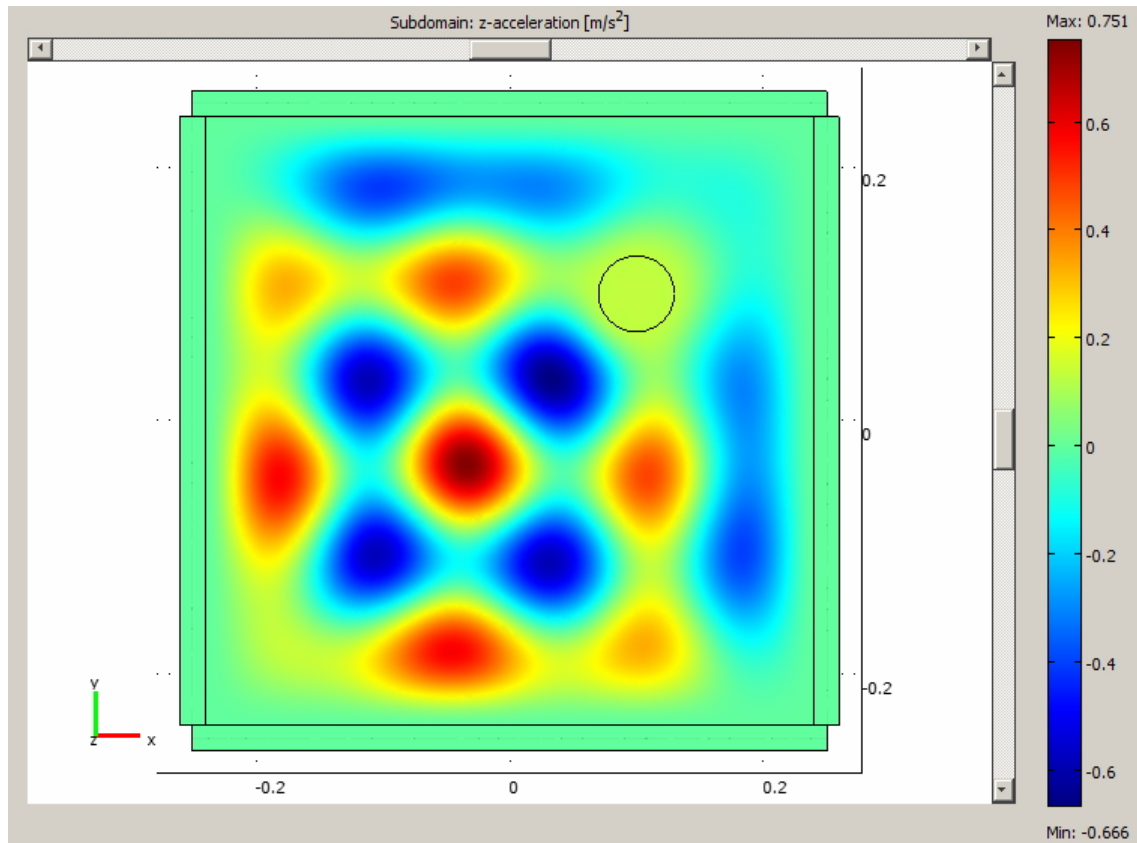
Keretbe fogva, rezgető átlós irányú eltolása mellett



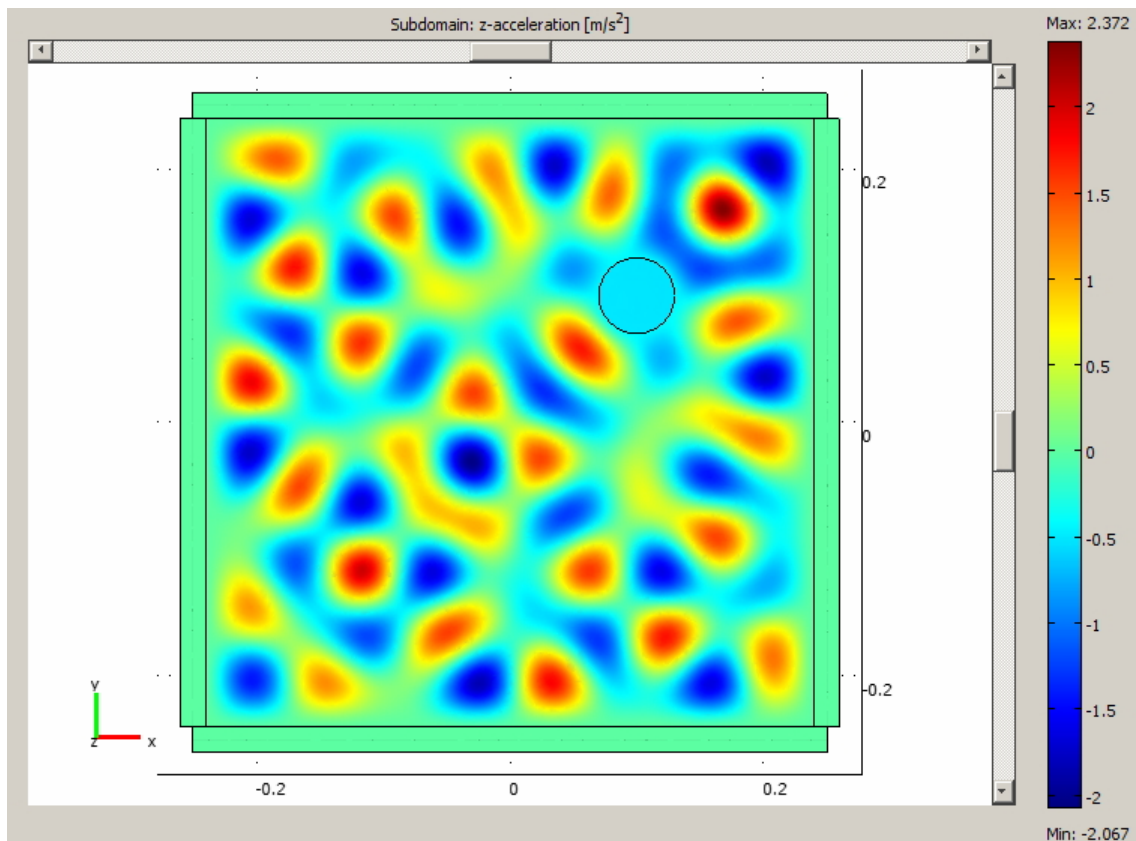
30.ábra: rezgető eltolva/ keretbe fogva, 300 Hz-en.



31.ábra: rezgető eltolva/ keretbe fogva, 1 kHz-en.



32.ábra: rezgető eltolva/ keretbe fogva, 3 kHz-en.



33.ábra: rezgető eltolva/ keretbe fogva, 10 kHz-en.

A rezgető elhelyezése szerepe azt eredményezte ennél a lefogatási módszernél, hogy a 300 és 1000 Hz-en kisebb, míg az 3000 és a 10000 Hz-en nagyobb amplitúdó eltérést eredményezett. Közel sem akkora az amplitúdó változás, hogy érdemes lenne ezzel az előnnyel számolni, hogy hová helyezzük a rezgetőt.

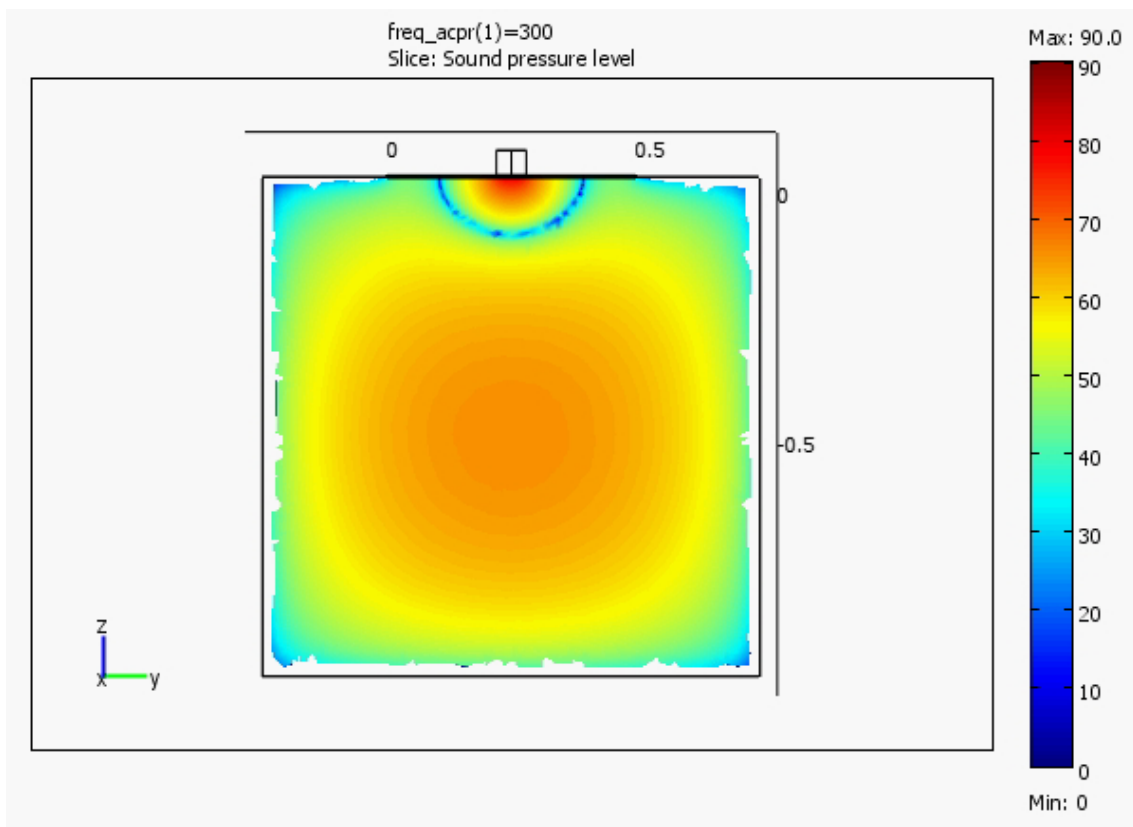
A rezgéseképek alapján azt vonhatom le, hogy nincs jelentősége annak, hogy hová helyezem el a rezgetőt valamint hogy le van-e fogatva vagy sem.

Iránykarakterisztikák

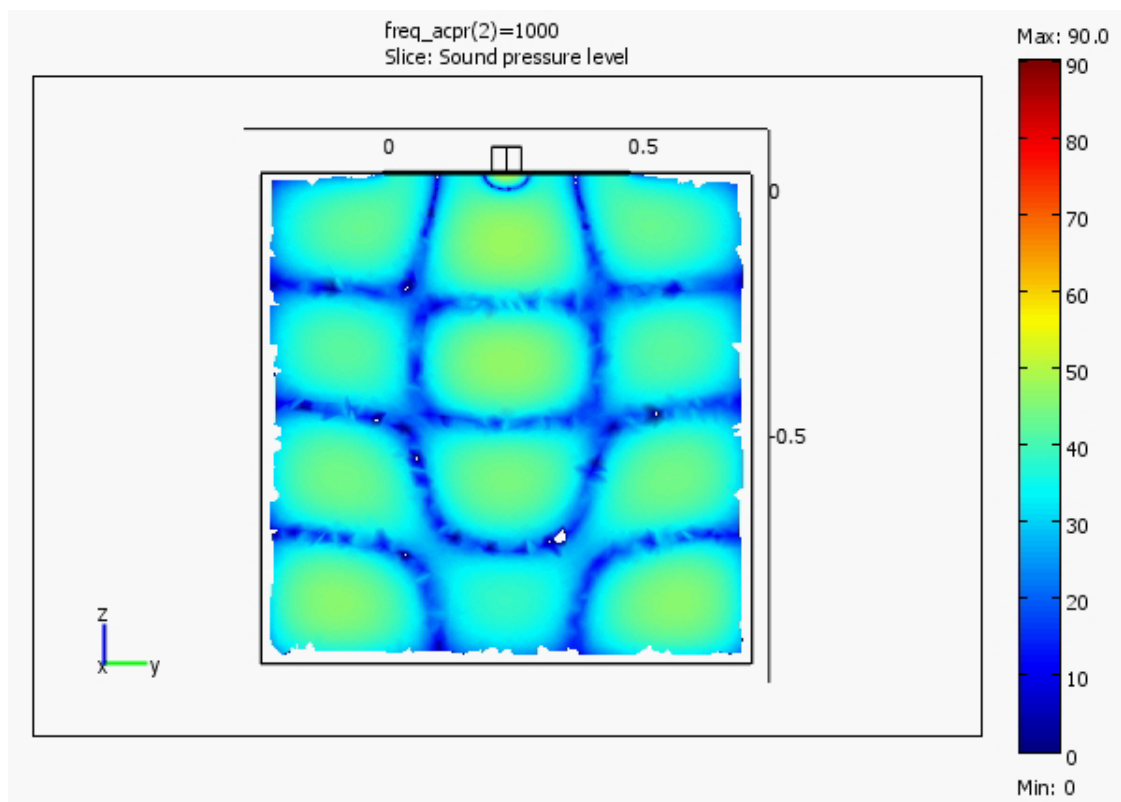
Az iránykarakterisztika szimulálása folyamán a Comsol sokváltozós-differenciál egyenletrendszert végez véges elem módszerrel, ezért egy-egy szimuláció elég hosszadalmas és nagy erőforrást igényel.

A szimulációt egy 1x1x1 m-es testen végeztem, amely egy helyiséget reprezentál. Mivel sokáig tart egy szimuláció, ezért nem állítottam be nagyobb térrészt. A szimulációkat itt is 300; 1000; 3000 és 10000 Hz-en végeztem. 10 kHz-en már nem sugározza be a teljes térrészt, itt a hangok már csak közvetlenül az üveglap közelében hallhatóak.

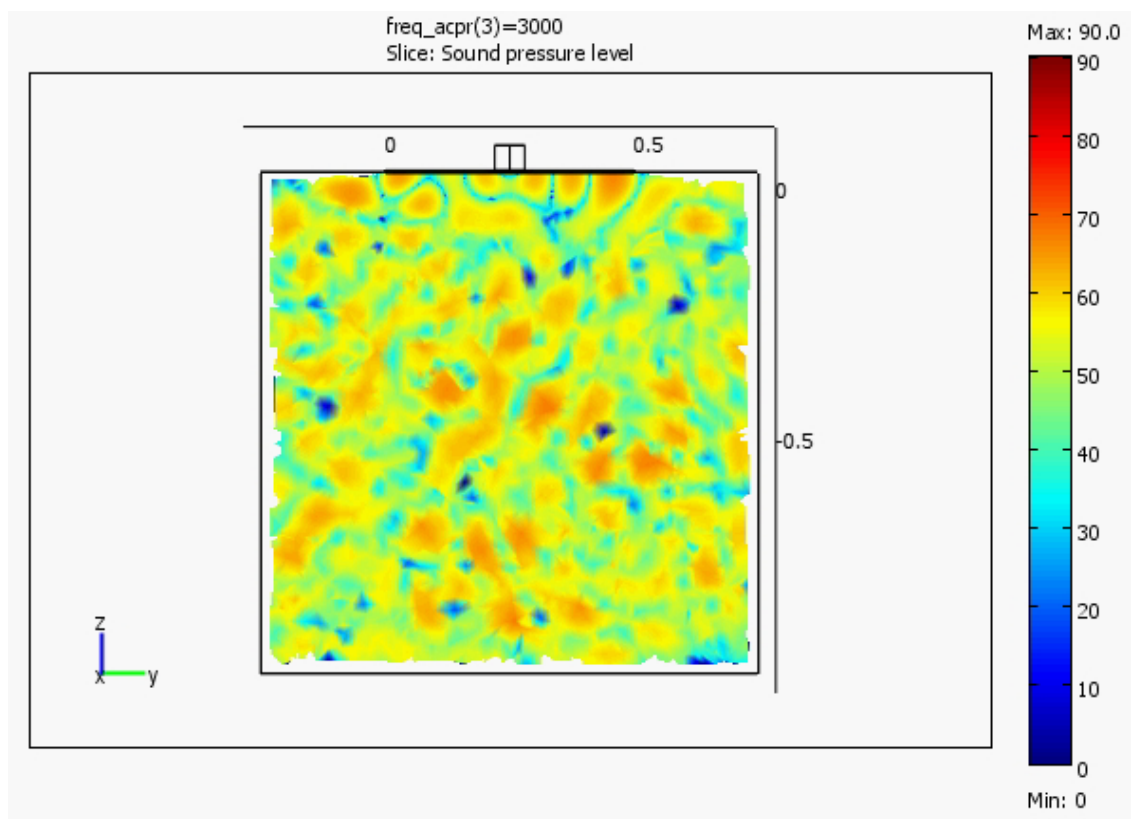
Rezgető középső állása



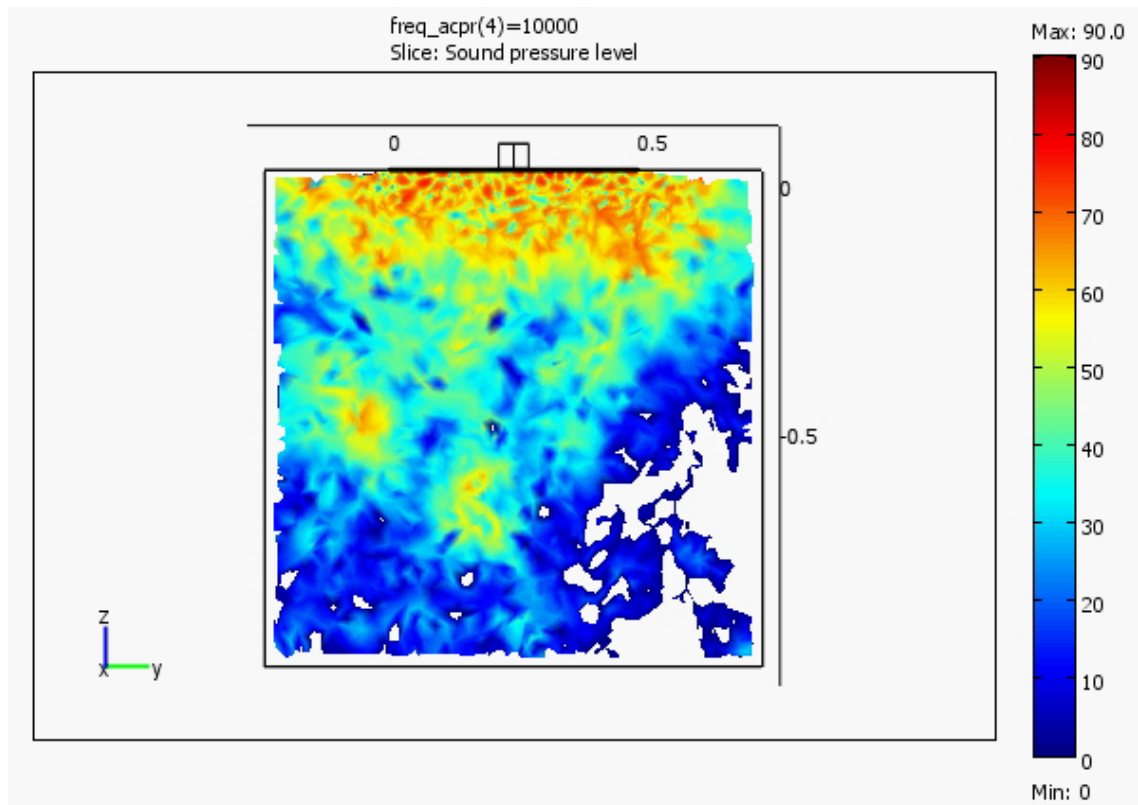
34.ábra: rezgető középén elhelyezve, 300 Hz-en.



35.ábra: rezgető középén elhelyezve, 1 kHz-en.



36.ábra: rezgető középén elhelyezve, 3 kHz-en.

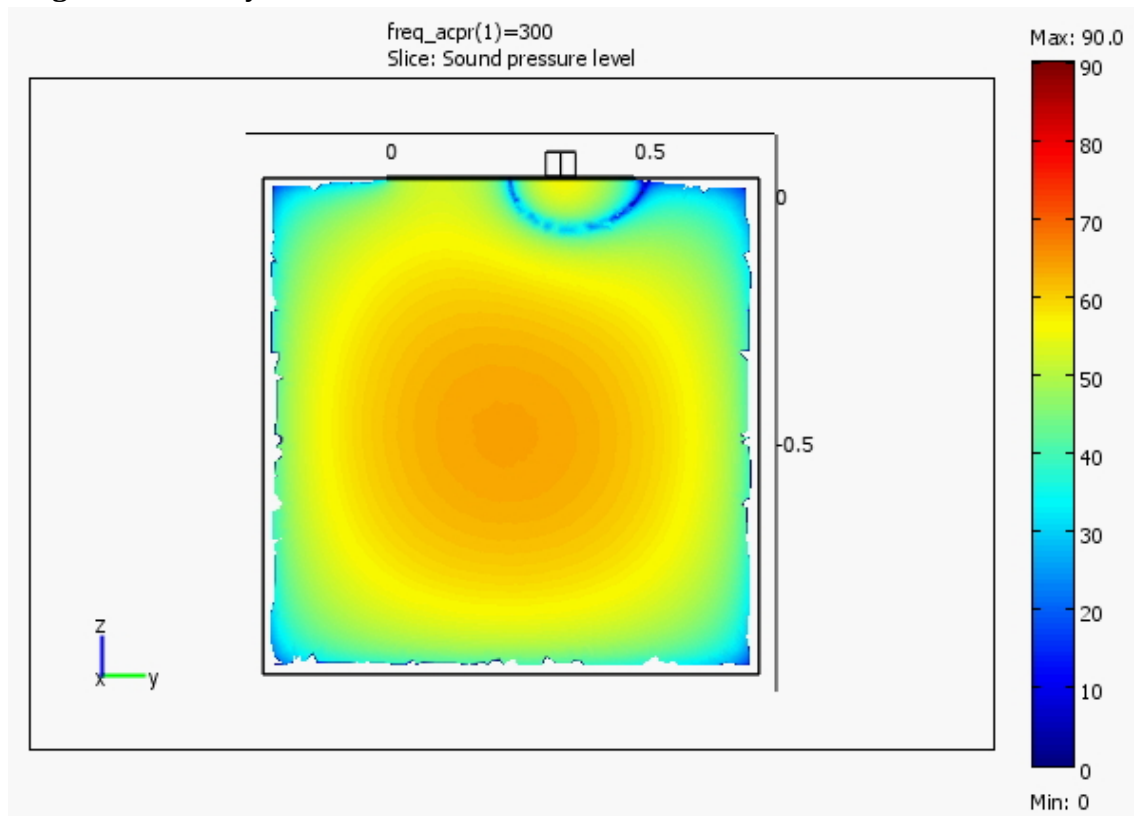


37.ábra: rezgető középén elhelyezve, 10 kHz-en.

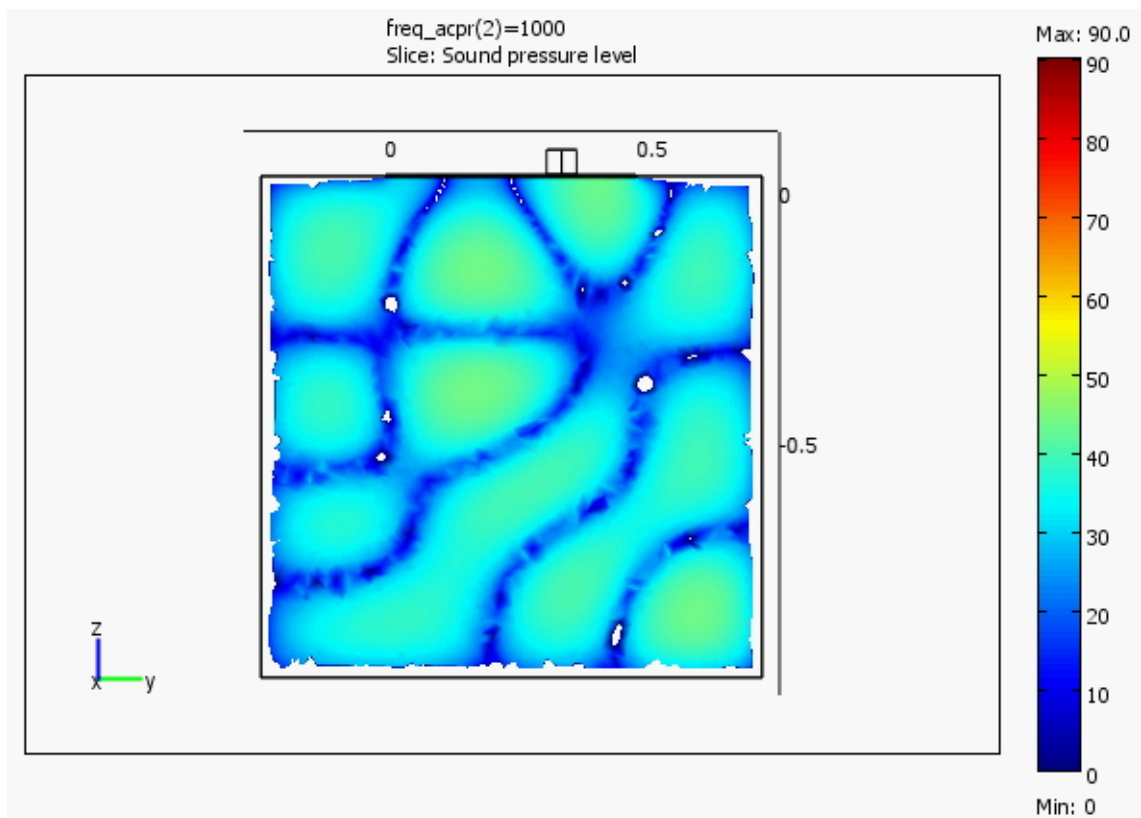
300 Hz-nél azt vehetjük észre, hogy a 60 dB-es a hangszint, elég egyenletes mivel alacsony frekvenciáról van szó. 1 kHz-nél azt mondhatom, hogy 30 dB körüli az átlag viszont itt láthatóak fehér foltok, amik azt jelentik, hogy ott nincs hangnyomás.

3 kHz-nél 60 dB körüli értékeket tapasztalhatunk megint csak, míg 10 kHz-nél egy 30 cm-es sávban még 50 dB-es átlagértékeket tapasztalhatunk, addig ettől távolabb már 10 dB a maximum, de vannak olyan részek ahol nincs is hangnyomás. A magas hangok szempontjából nem jó az átvitel.

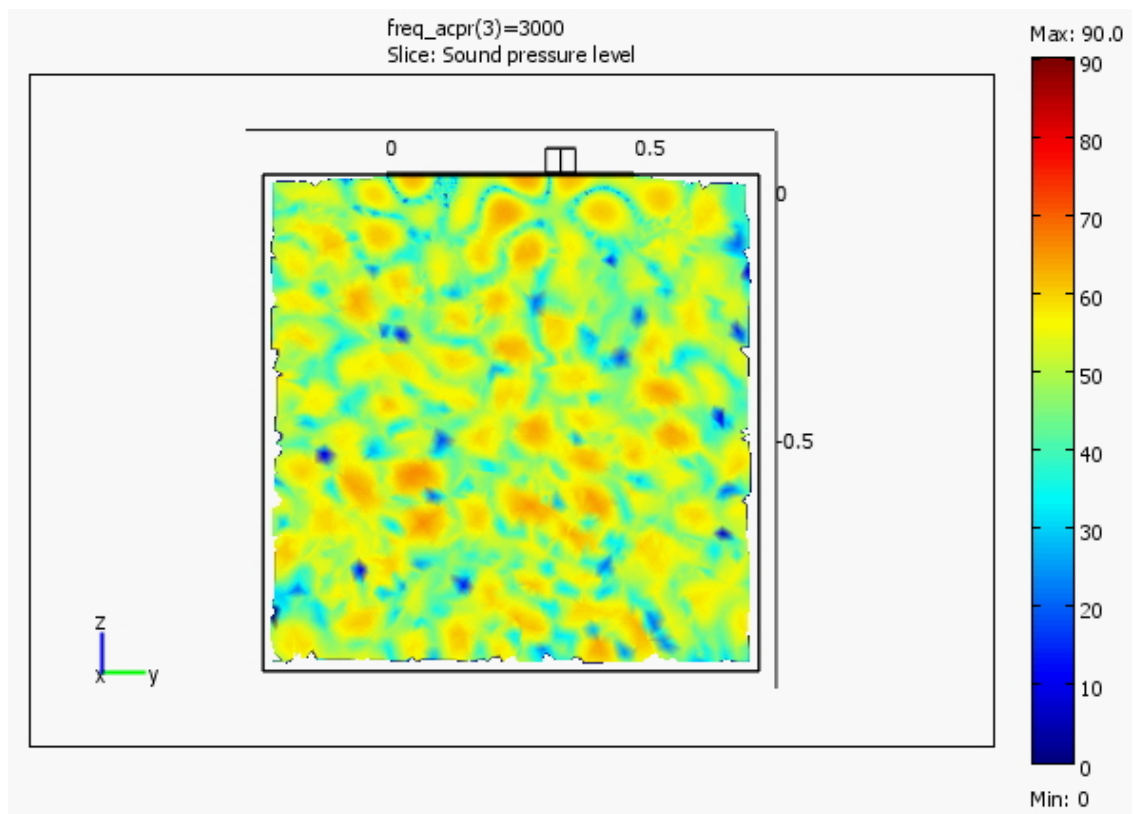
Rezgető átlós irányú eltolása



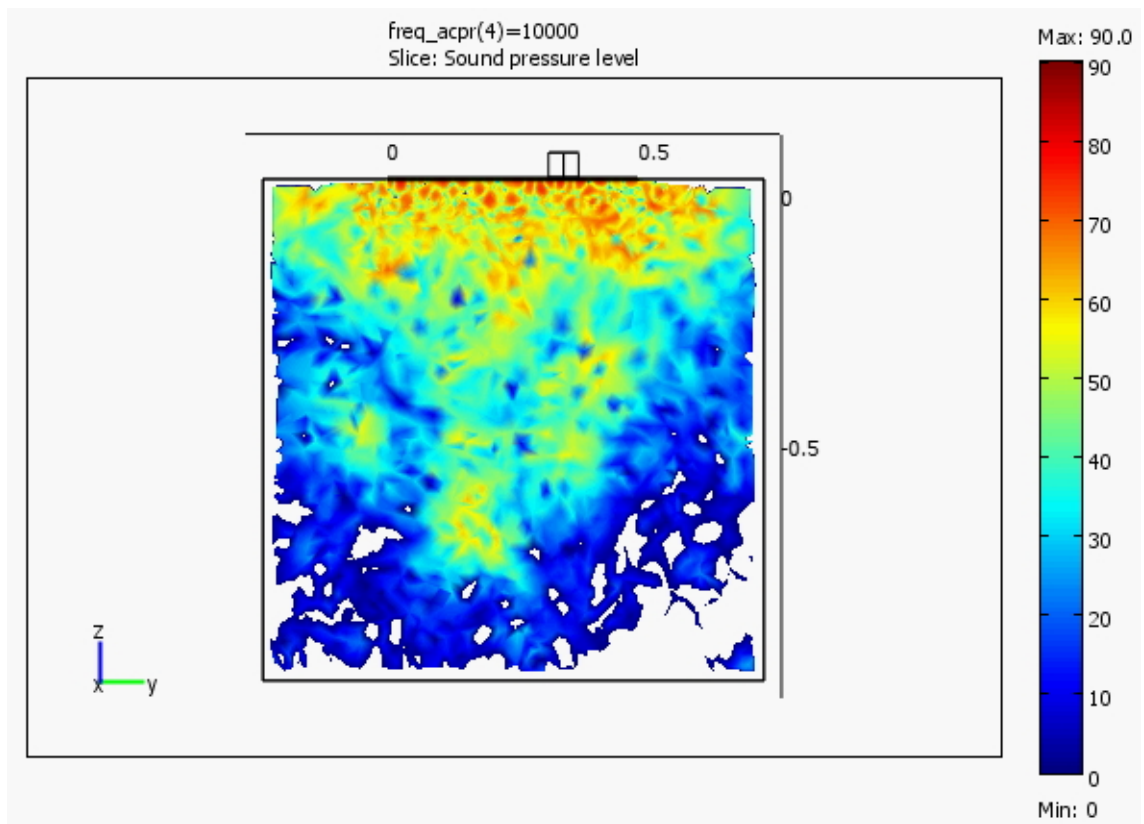
38.ábra: rezgető eltolva, 300 Hz-en.



39.ábra: rezgető eltolva, 1 kHz-en.



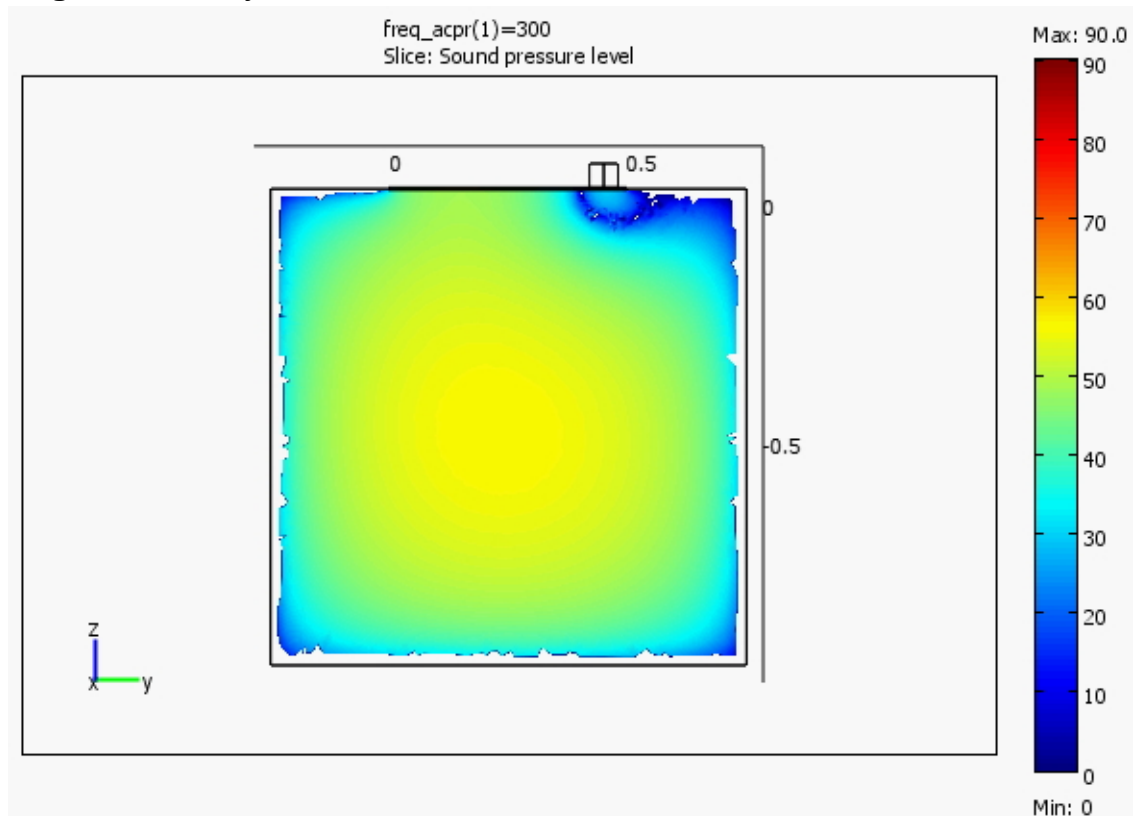
40.ábra: rezgető eltolva, 3 kHz-en.



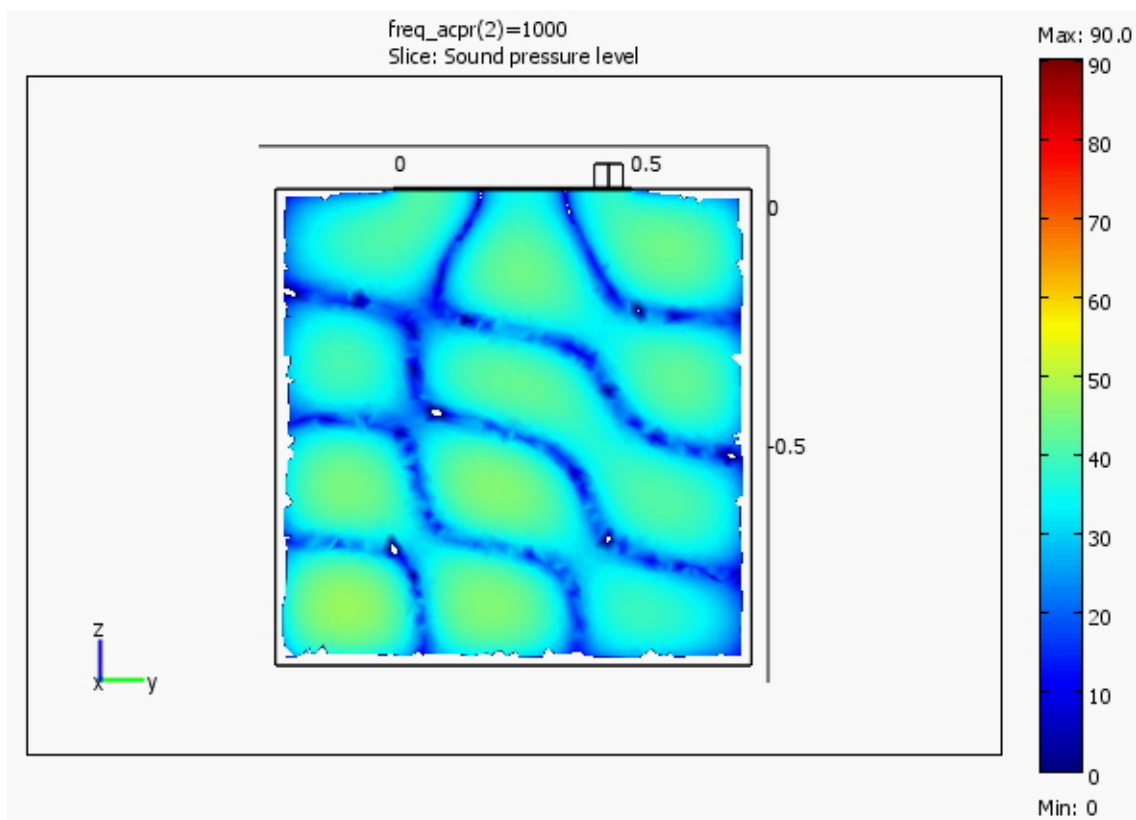
41.ábra: rezgető eltolva, 10 kHz-en.

Az ábrák alapján azt mondhatom, hogy az eltérés elhanyagolható. 300 Hz-en 55 dB; 1 kHz-en 35 dB; 3 kHz-en 55 dB, míg 10 kHz-en a rezgető közelében 80 dB attól 50 cm-re pedig már csak 25 dB-t mutat a szimuláció, amit nem mondhatunk jónak. A következőben pedig nézzük, mi történik, ha átlósan a sarok felé közelítem a rezgetőt.

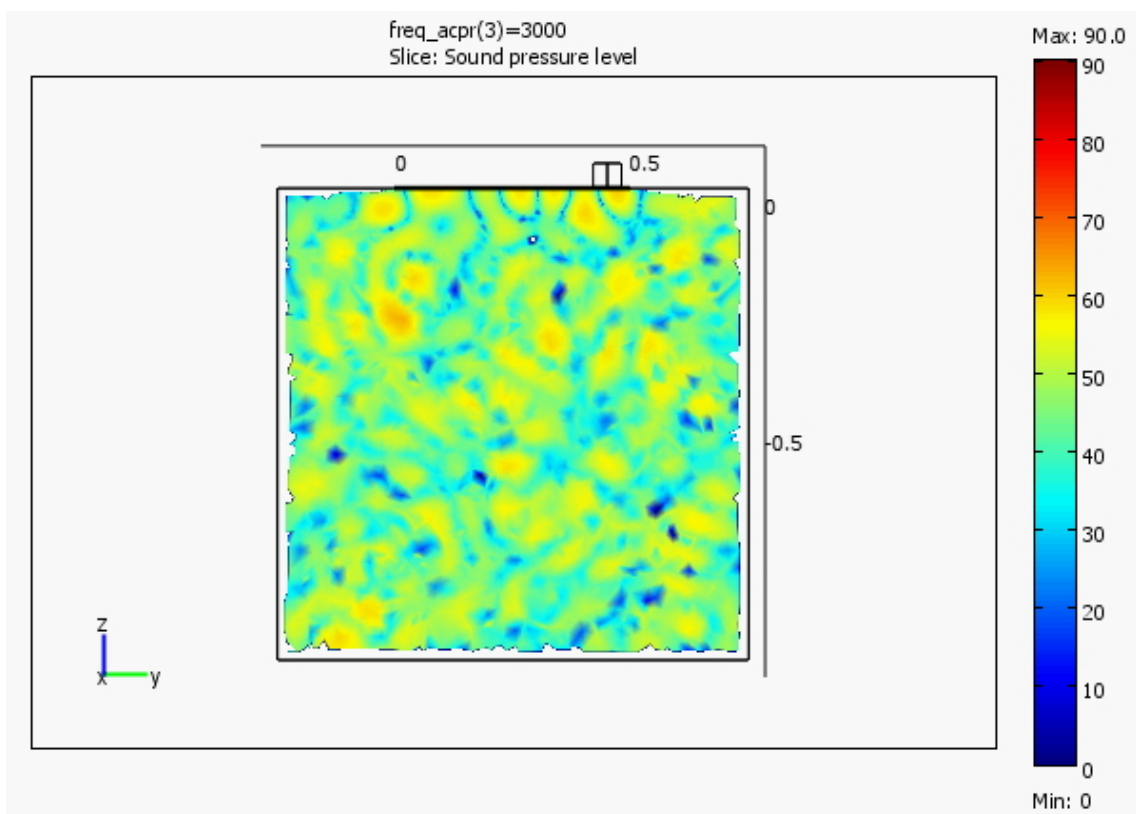
Rezgető átlós irányban a sarokba téve



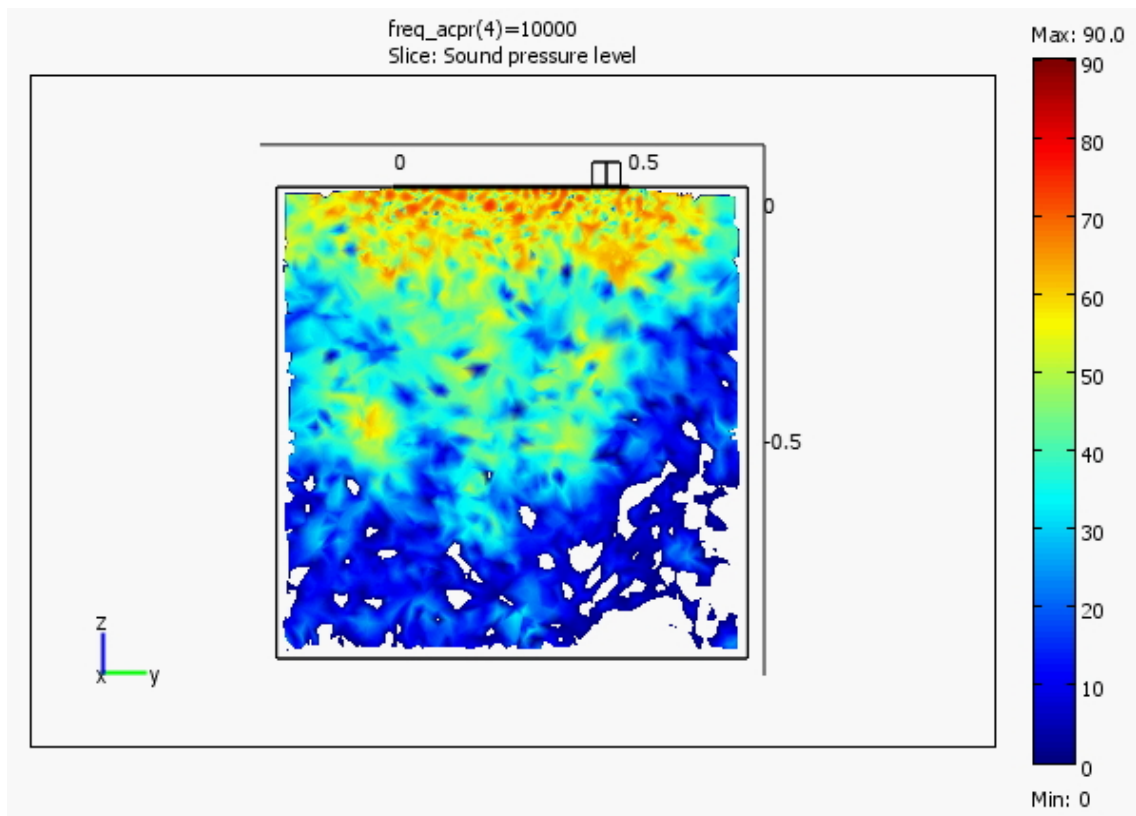
42.ábra: rezgető a sarokban, 300 Hz-en.



43.ábra: rezgető a sarokban, 1 kHz-en.



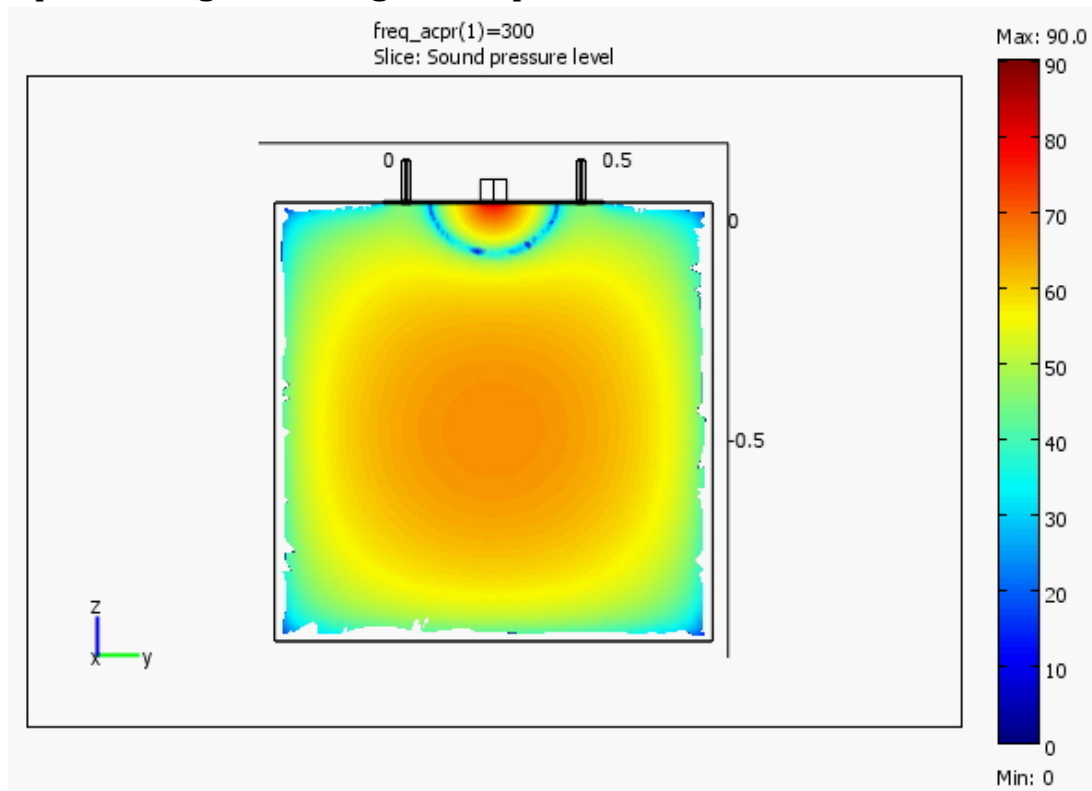
44.ábra: rezgető a sarokban, 3 kHz-en.



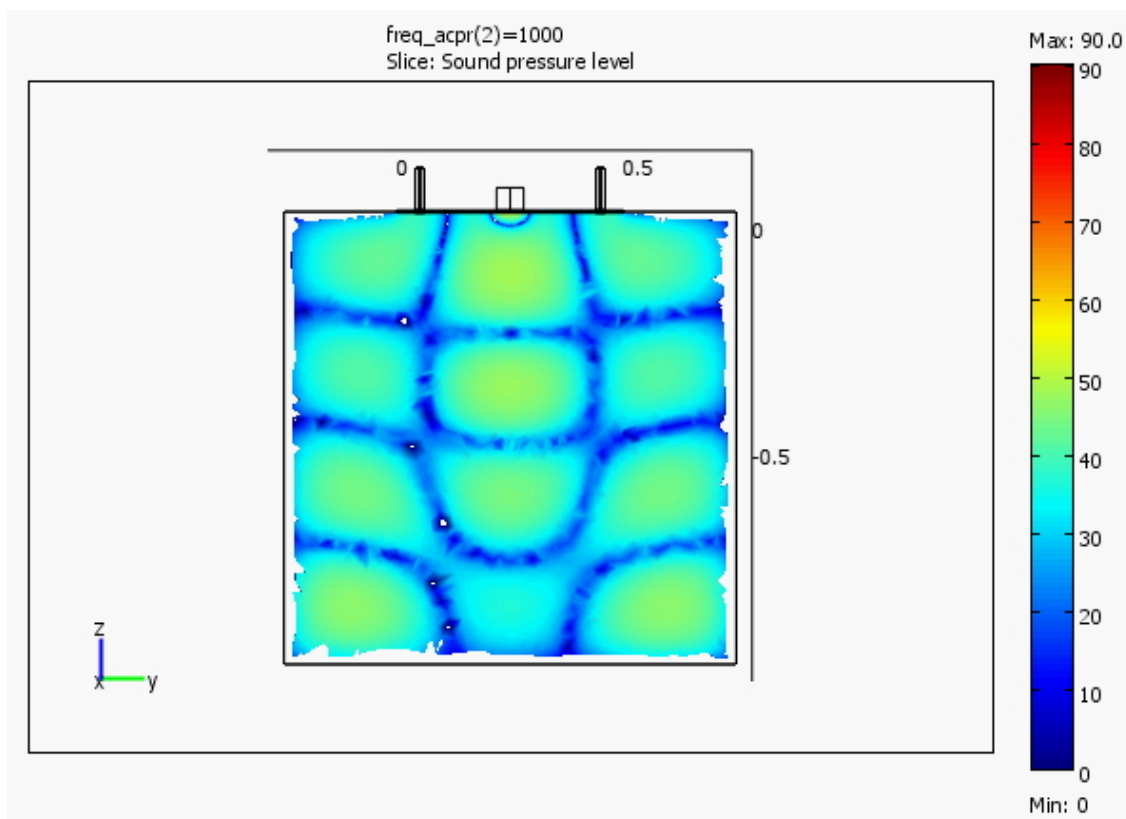
45.ábra: rezgető a sarokban, 10 kHz-en.

Lényeges eltérést ennél a lehetőségnél sem láttam az előbbiekhöz képest. 300 Hz-en azt láthatjuk, hogy mivel közel van a sarokhoz 20 dB a hangnyomásszint, ez elég nagy eltérés a test többi részéhez képest. Kis eltérés látható 3 kHz-en, mert folyamatosan csökkent 5 dB-el a hangnyomás és 10 kHz továbbra is 50 cm-nél nagyobb távolságban nem jó az átvitel. A következőben a felfogatásos módszereket fogom bemutatni. Először a 4 sarkánál felfogatott üveglapot szimulálom, a rezgető pedig középre van helyezve.

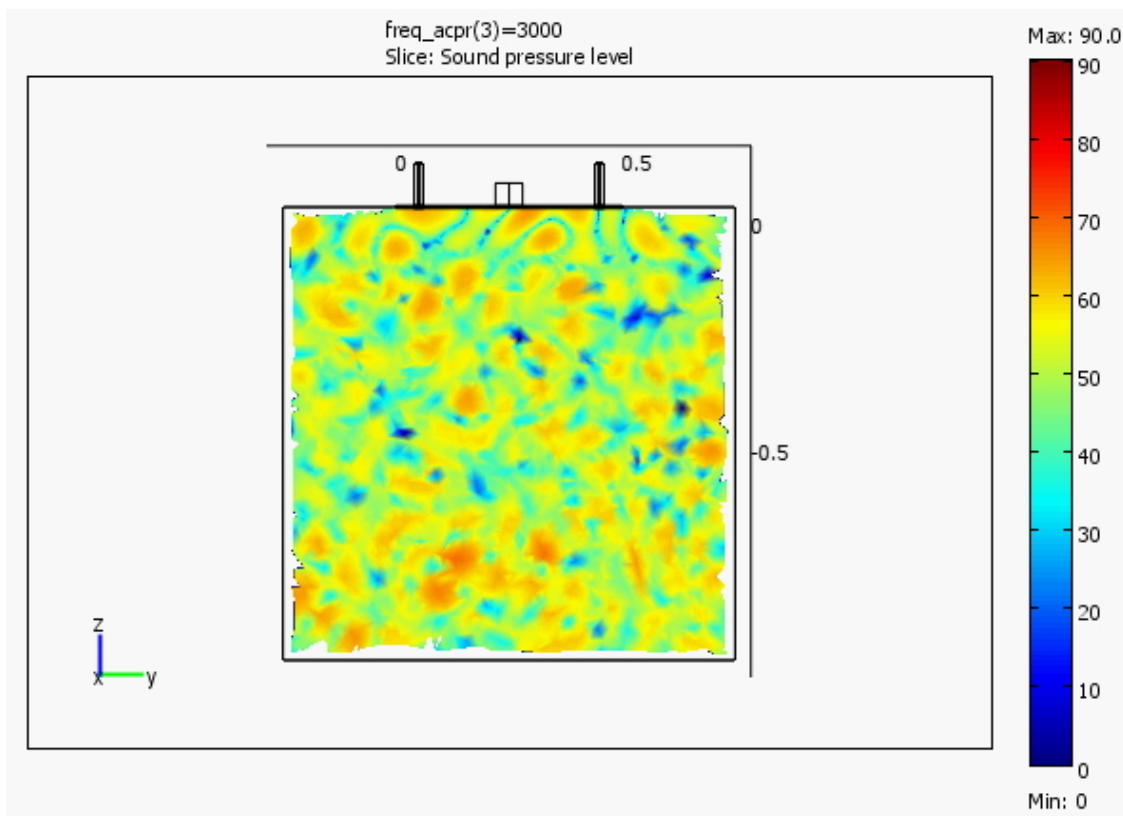
4 pontban rögzítve, a rezgető középső állása mellett



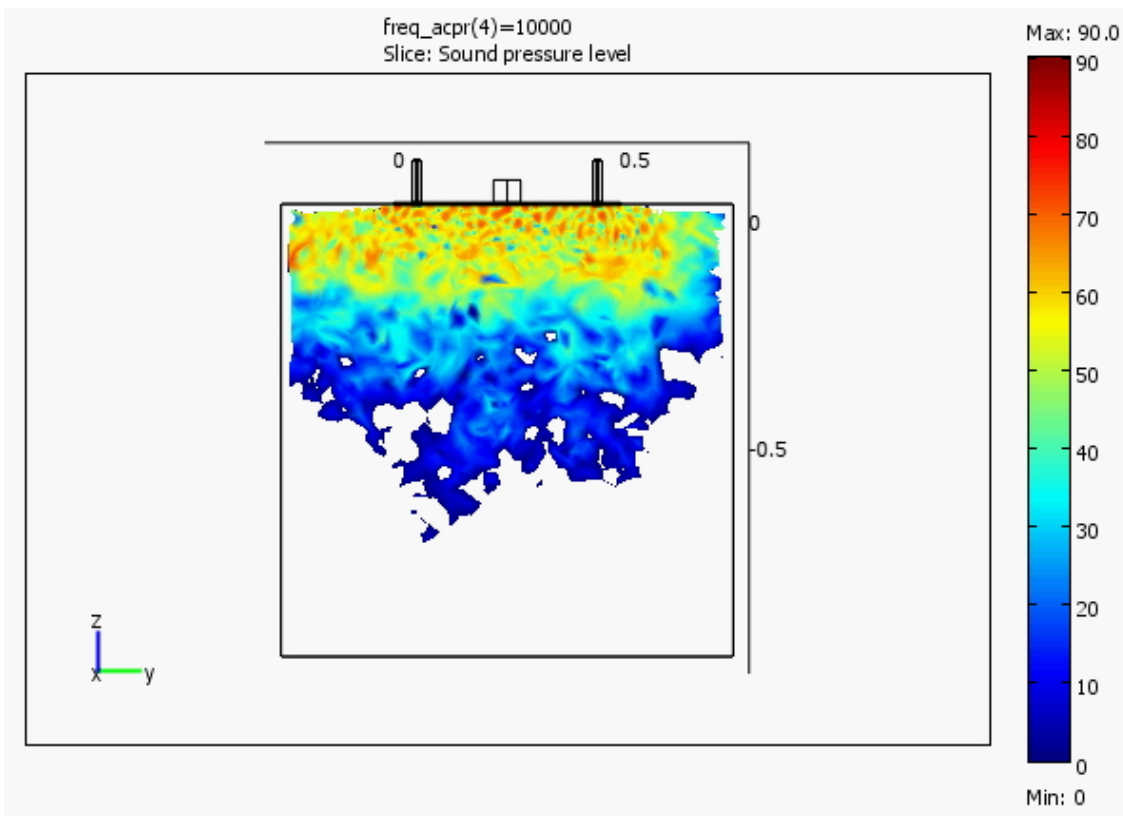
46.ábra: rezgető középén/ 4sarokban lefogatva, 300 Hz-en.



47.ábra: rezgető középén/ 4sarokban lefogatva, 1 kHz-en.



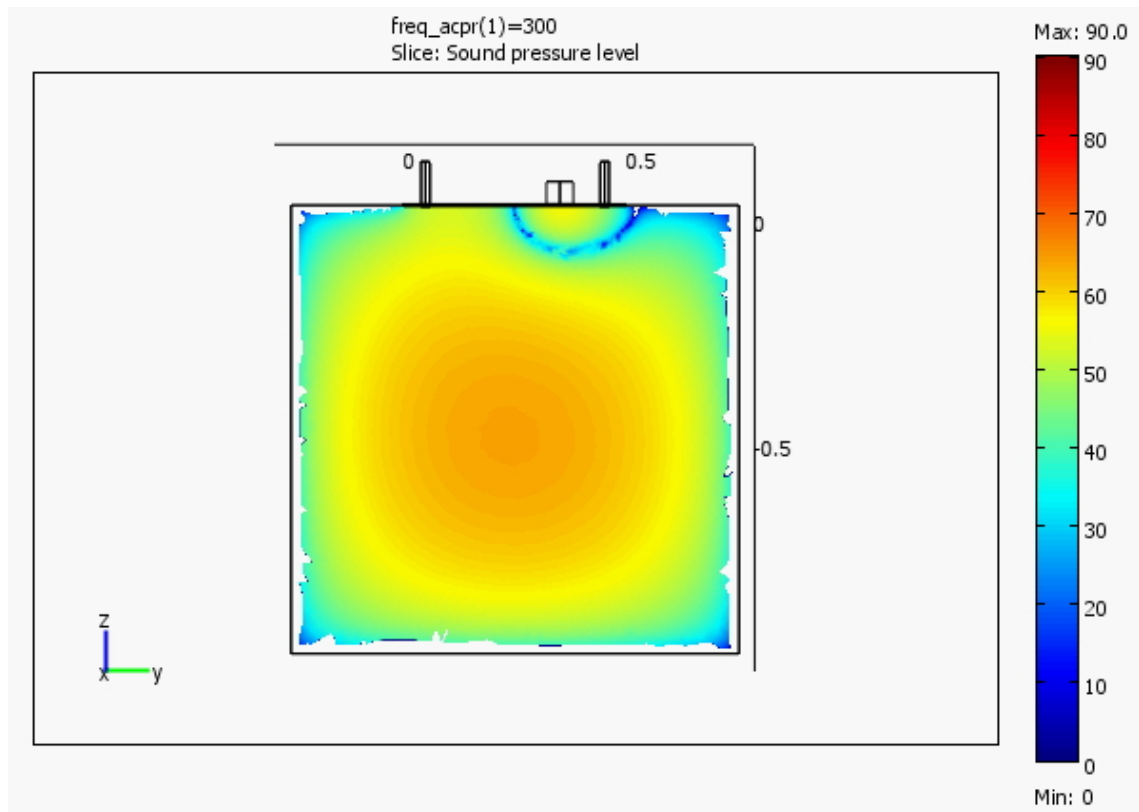
48.ábra: rezgető középén/ 4sarokban lefogatva, 3 kHz-en.



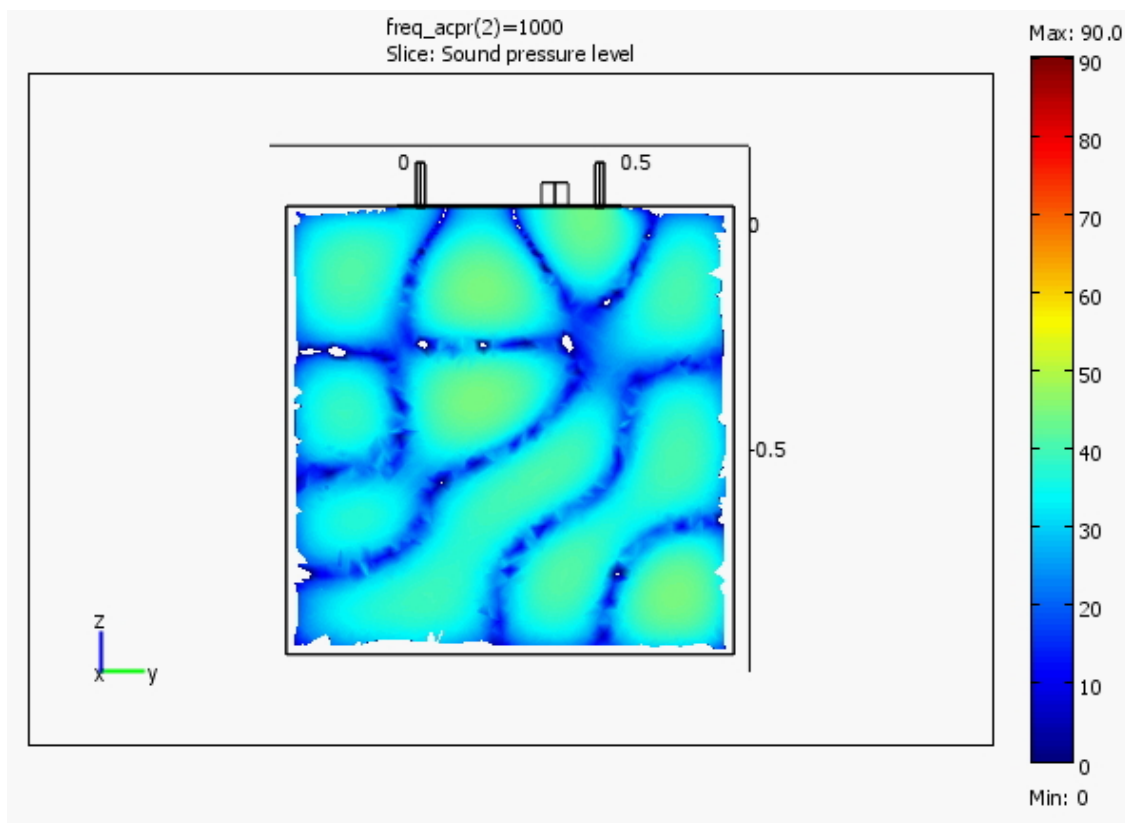
49.ábra: rezgető középén/ 4sarokban lefogatva, 10 kHz-en.

Nagy eltérést most sem tapasztalhatunk. 300; 1000; 3000 és 10000 Hz-en sincs eltérés. 10 kHz-nél ugyan úgy nincs hangnyomás 40 cm-től távolabb. A következőben megnézzük, mit eredményez, ha átlósan eltolom a rezgetőt az üveglapon. Remélhetőleg jobb eredményt fog mutatni a magasabb frekvenciájú hangok tekintetében.

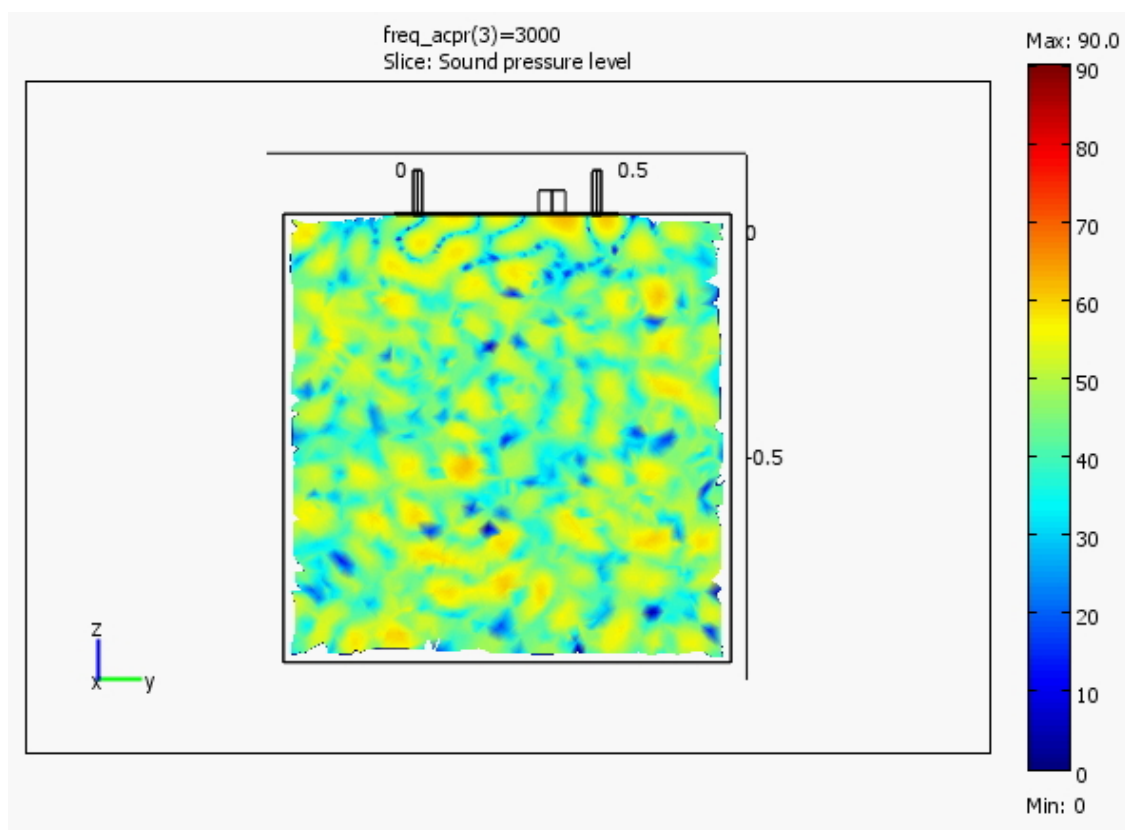
4 pontban rögzítve a rezgető átlós irányú eltolása mellett



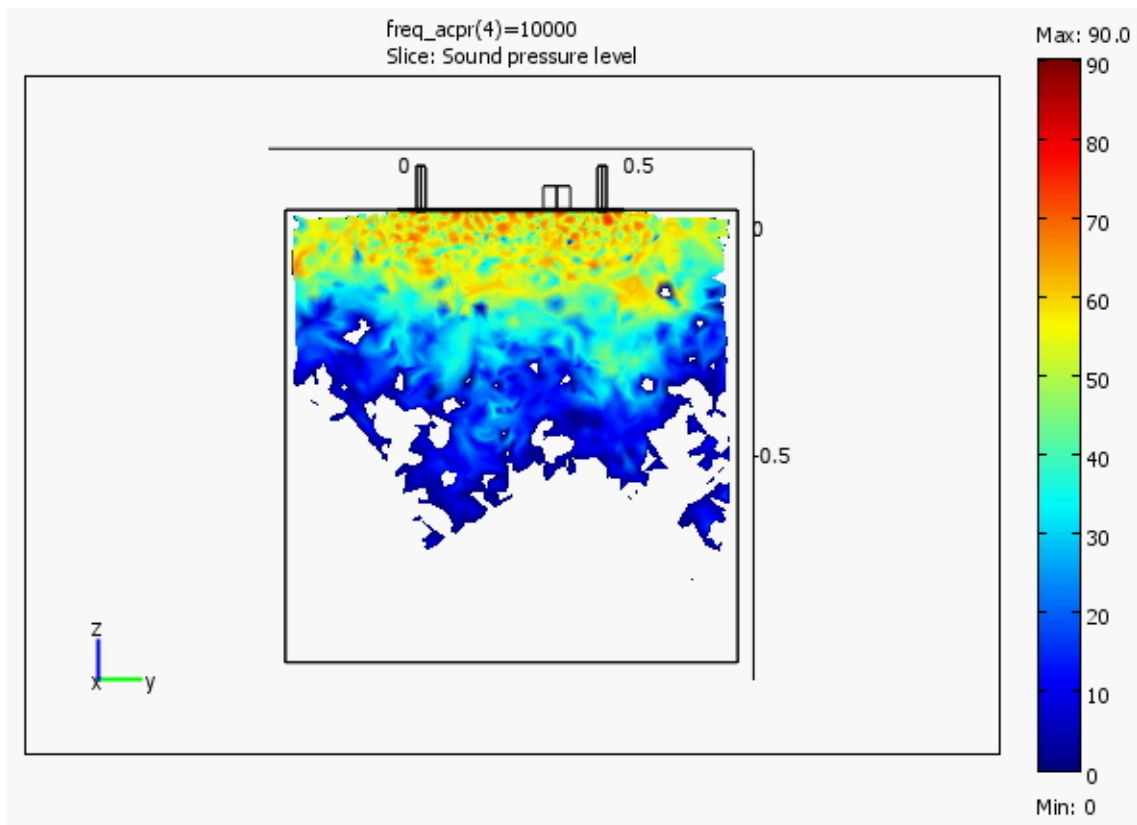
50.ábra: rezgető eltolva/négy sarokban lefogatva, 300 Hz-en.



51.ábra: rezgető eltolva/négy sarokban lefogatva, 1 kHz-en.



52.ábra: rezgető eltolva/négy sarokban lefogatva, 3 kHz-en.

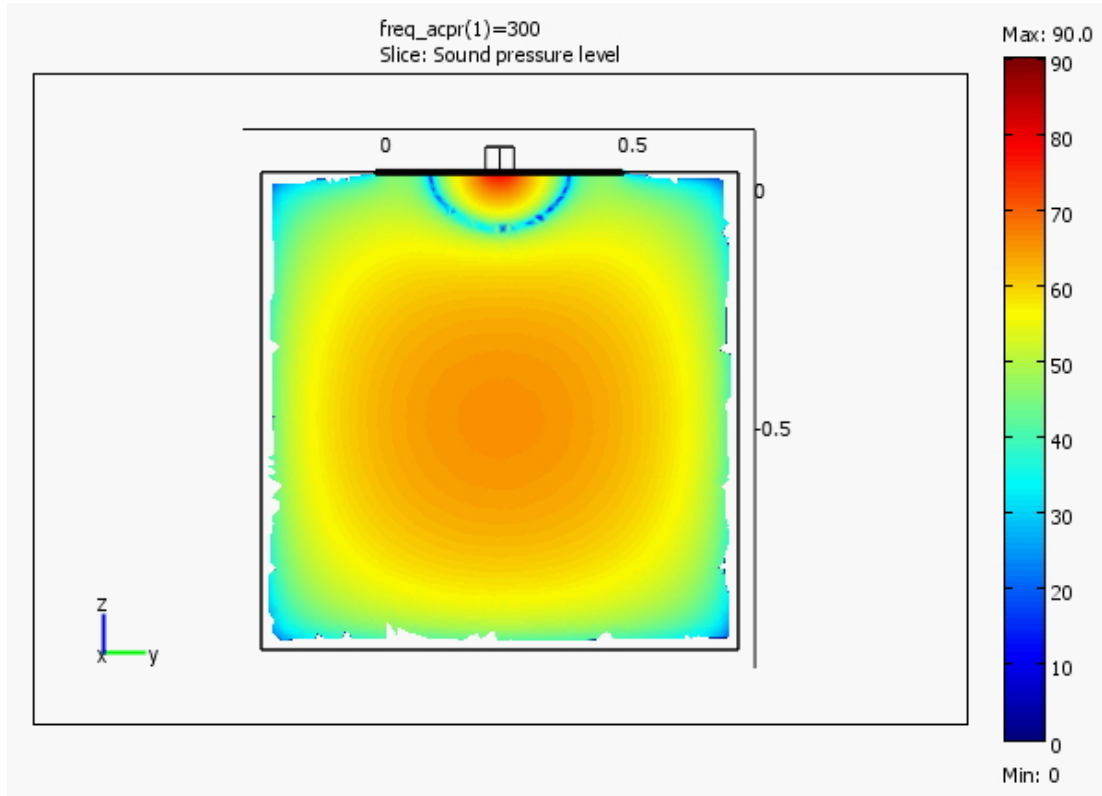


53.ábra: rezgető eltolva/négy sarokban lefogatva, 10 kHz-en.

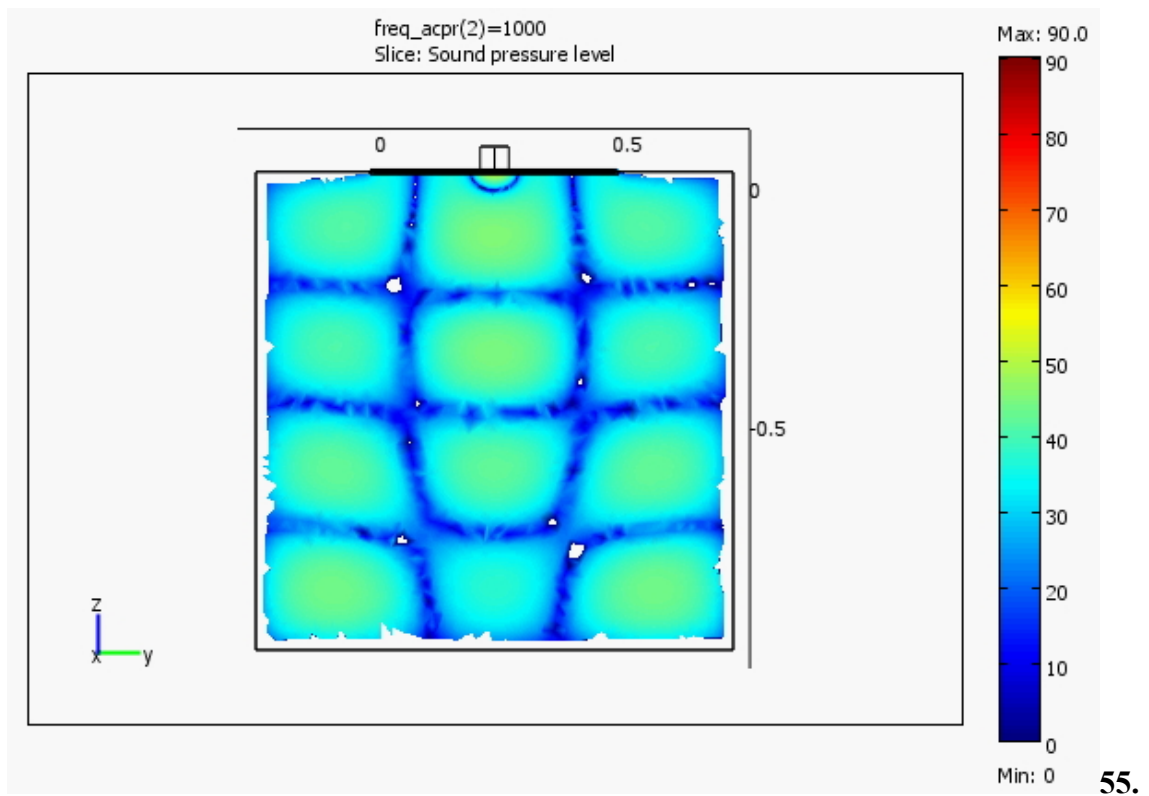
Ez az eset sem mutatott eltérést az előbbi módszerekhez képest. 10 kHz-nél nem beszélhetünk átvitelről 40 cm-től nagyobb távolságban. A nagyobb amplitúdójú pontok nyilván átrendeződtek a rezgető elmozdításával, de az átlagon nem változtatott.

A másik lefogatási módszer, amikor körbe befogatom egy keretbe az üveglapot. Itt is kétféle esetet vizsgálok iránykarakterisztika szempontjából, középre helyezve a rezgetőt valamint átlós irányban eltolva.

Keretbe fogva, rezgető középső állása mellett

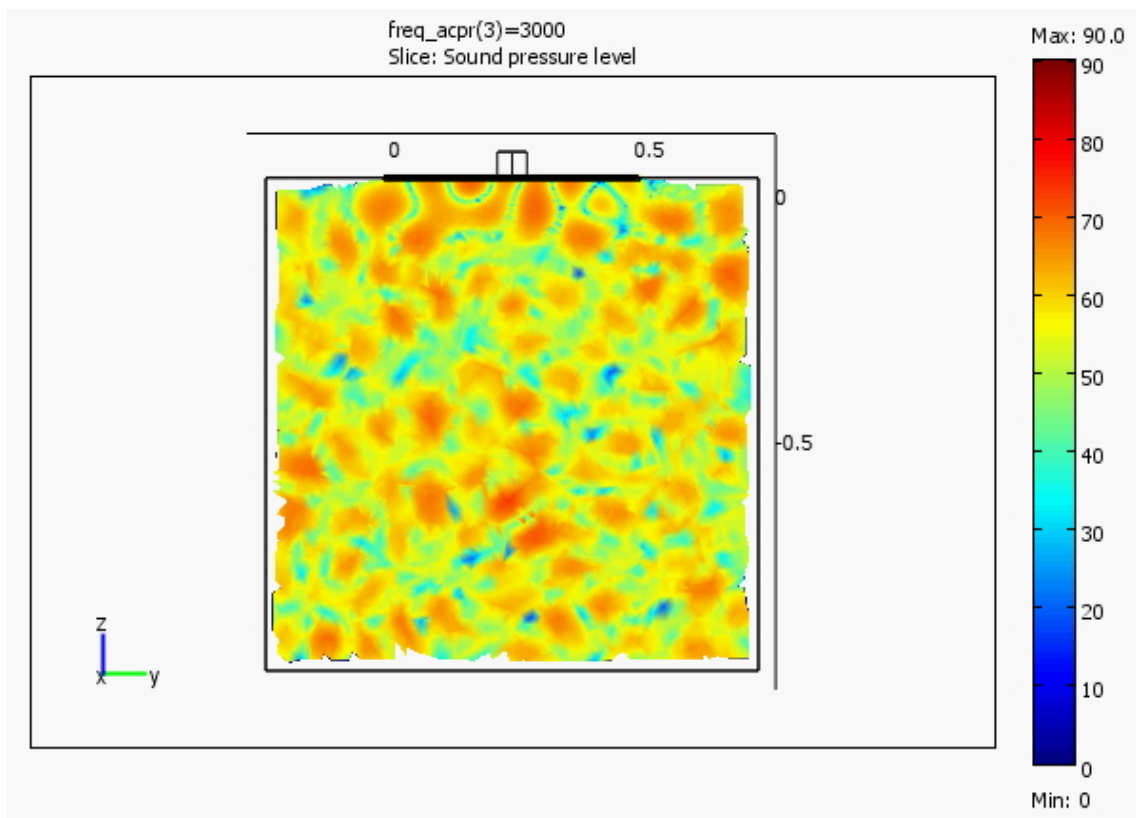


54.ábra: rezgető középén elhelyezve/ keretbe fogva, 300 Hz-en.

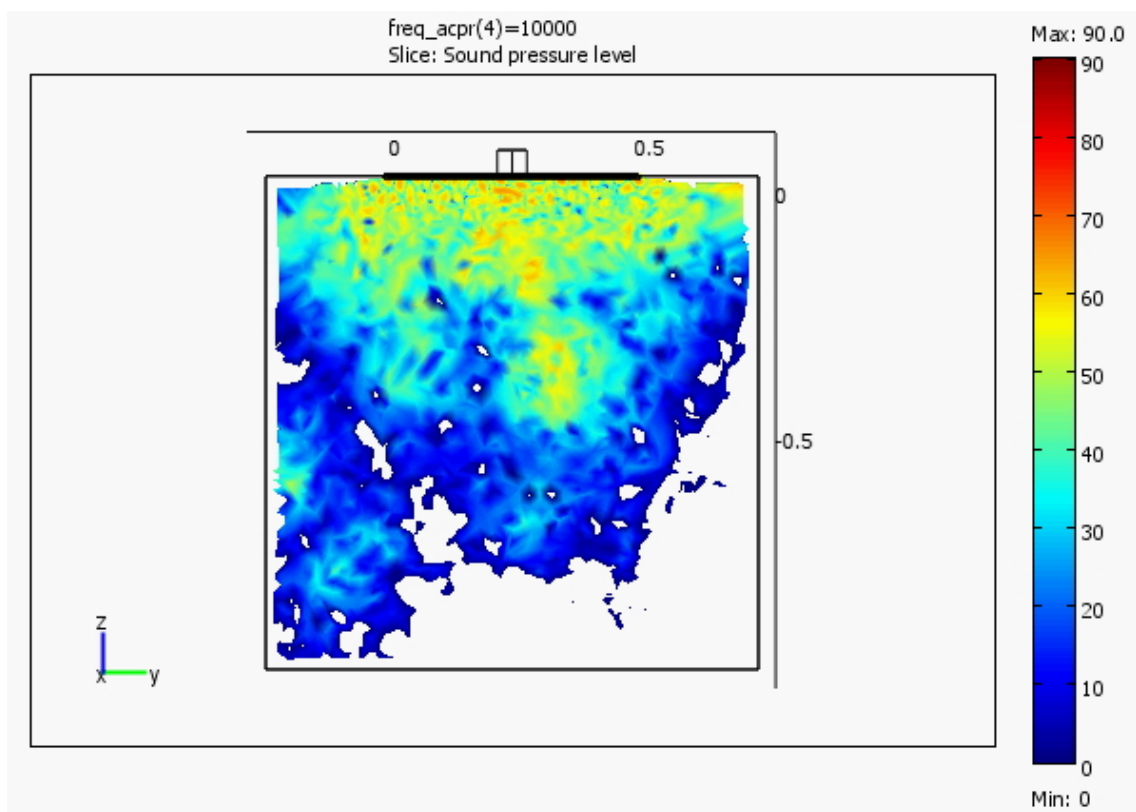


55. ábra: rezgető középén elhelyezve/ keretbe fogva, 1 kHz-

en.



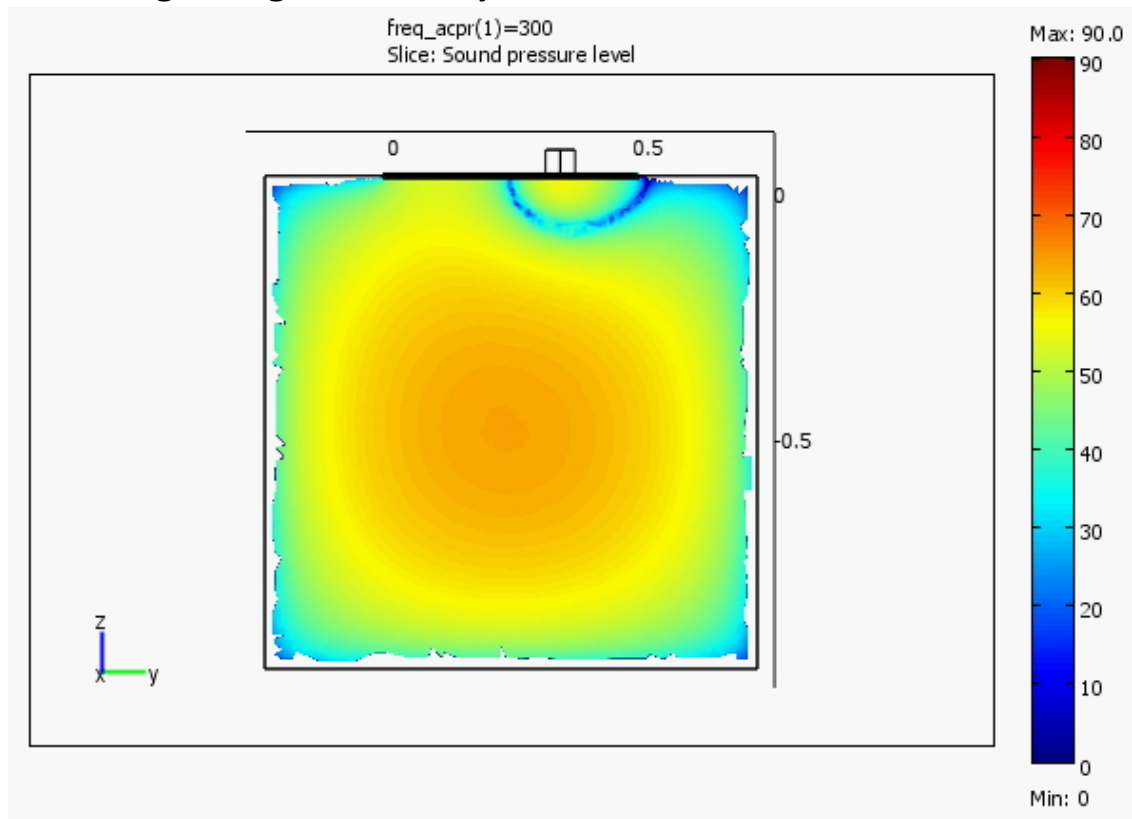
56.ábra: rezgető középén elhelyezve/ keretbe fogva, 3 kHz-en.



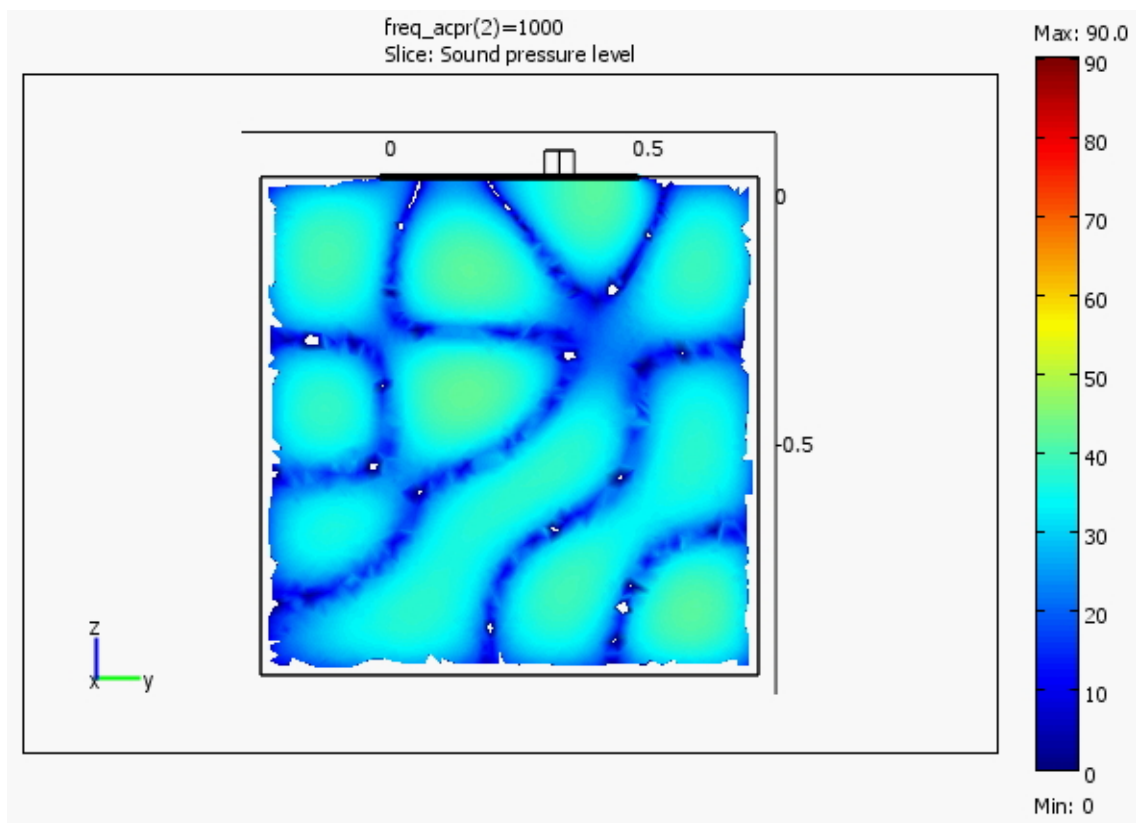
57.ábra: rezgető középén elhelyezve/ keretbe fogva, 10 kHz-en.

Az eredmények alapján 300; 1000 és 3000 Hz-en eltérést nem tapasztalható. 10 kHz-nél valamivel jobb a hangnyomásszint, de közel sem mondanám jónak. Az utolsó pozíciónál a rezgetőt eltolom az egyik sarok felé.

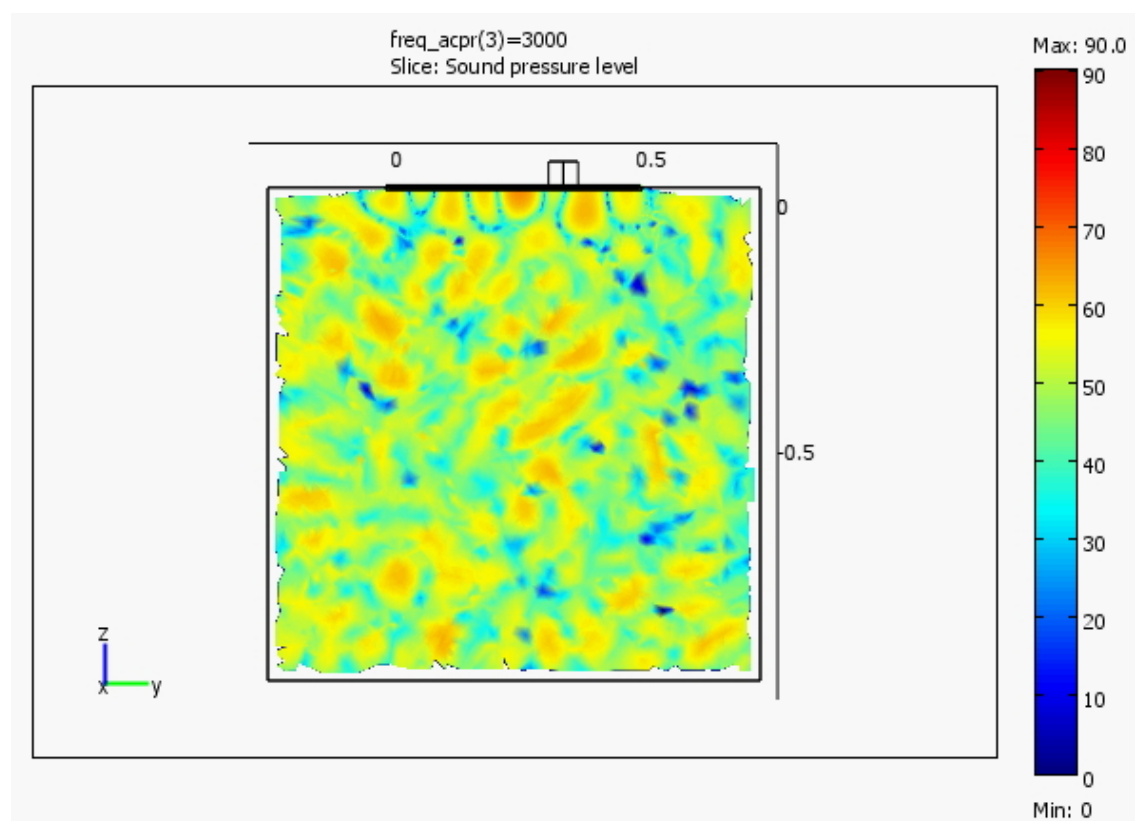
Keretbe fogva, rezgető átlós irányú eltolása mellett



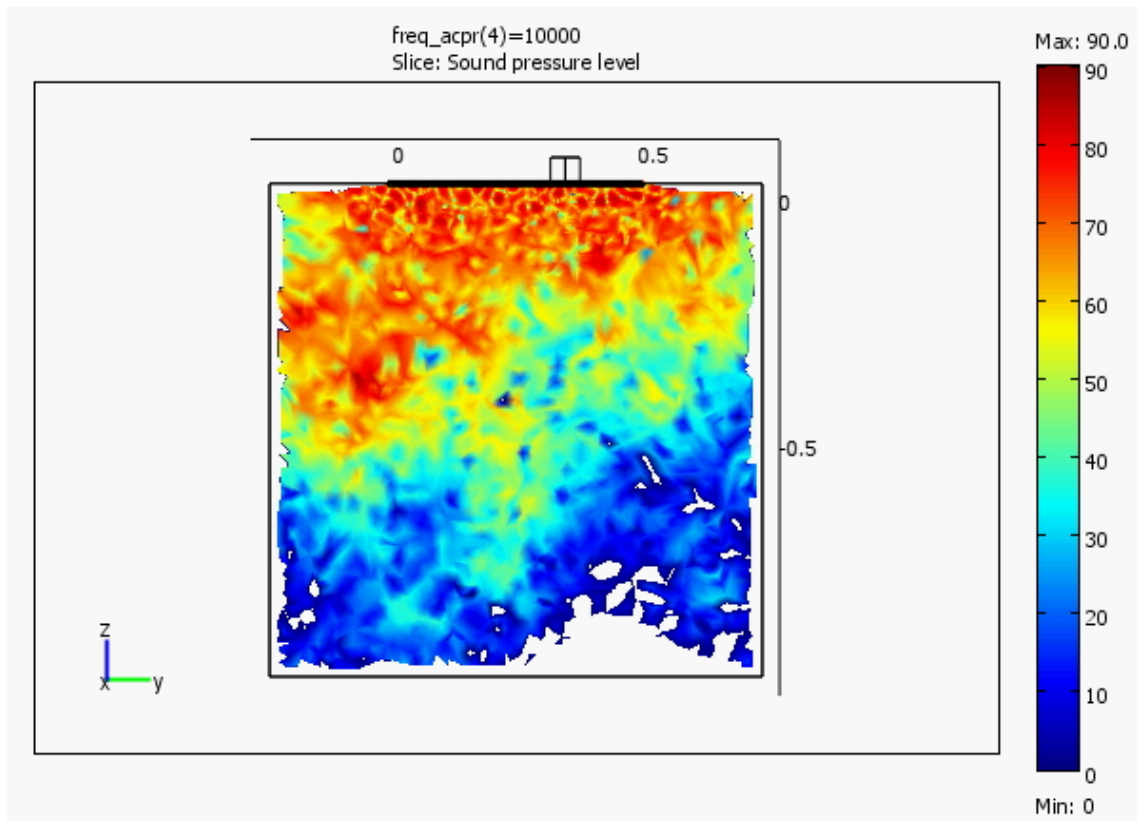
58.ábra: rezgető eltolva/ keretbe fogva, 300 Hz-en.



59.ábra: rezgető eltolva/ keretbe fogva, 1 kHz-en.



60.ábra: rezgető eltolva/ keretbe fogva, 3 kHz-en.



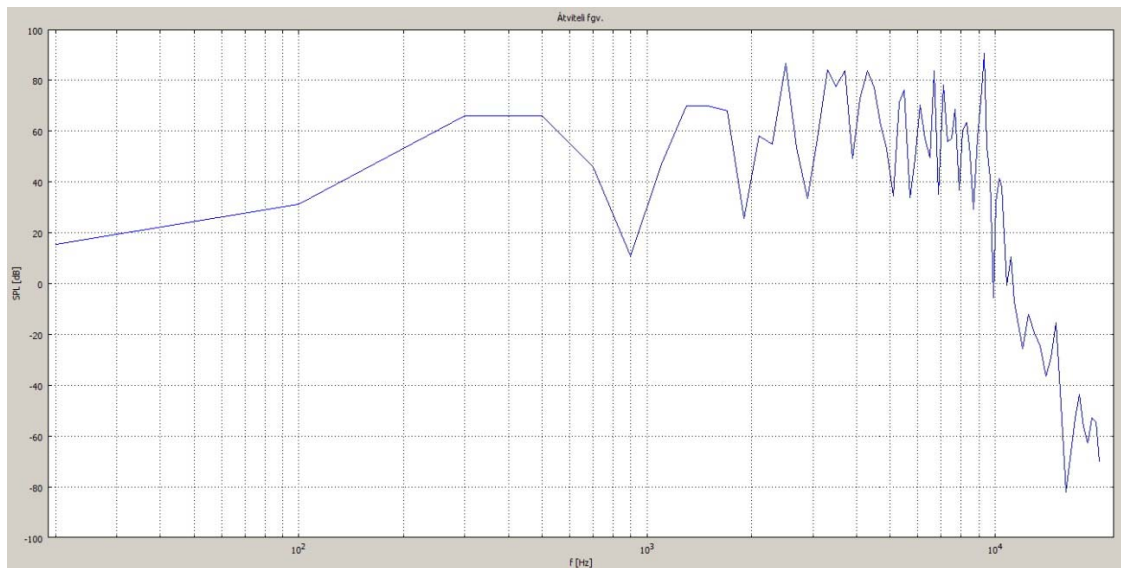
61.ábra: rezgető eltolva/ keretbe fogva, 10 kHz-en.

Az előbbi esethez képest semmilyen eltérést nem mutat azon kívül, hogy eltolódtak a rezgető közelében lévő erősebb sugárzási helyek és 10 kHz-en már 60 cm után nem beszélhetünk jó hangnyomás szintről, tehát jobb lett, de ez sem alkalmazható az életben.

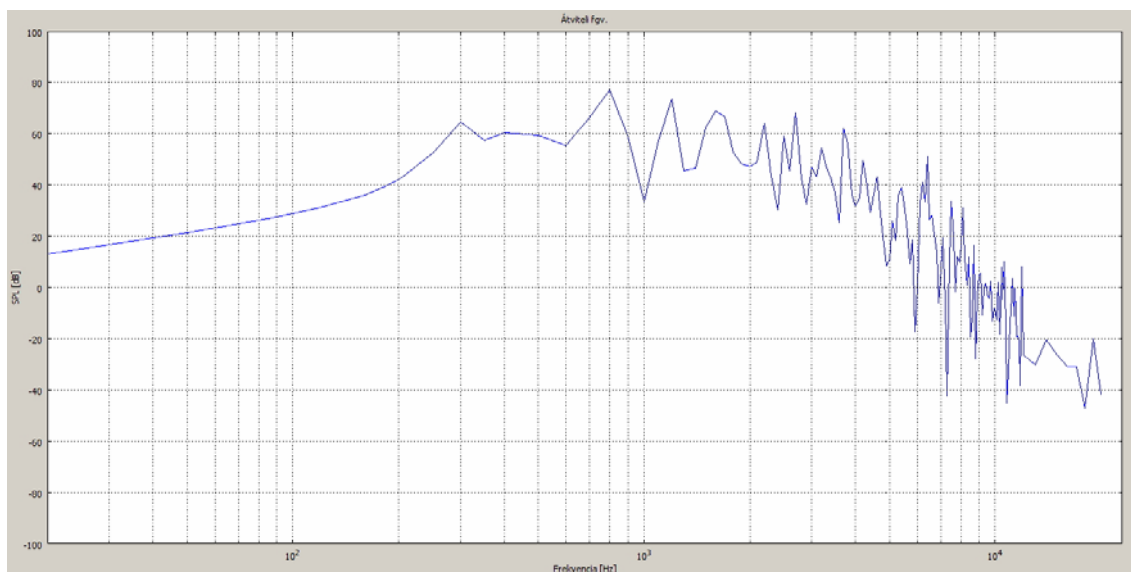
Az iránykarakterisztika szempontjából azt a következtetést vonhatom le, hogy irányítottság nem volt tapasztalható. A nagyfrekvenciás hangoknál már nem jó a hangnyomásszint, pedig messze még a 20 kHz! A rezgető elhelyezésének azt gondolom a szimulációk alapján nincs jelentősége, mert ha egy átlagot nézünk, akkor minden azonos frekvencián ugyan azt láthatjuk. A lefogatási módszereknél is ugyan ez a helyzet. A lefogatás közelében nincs rezgés, nyilván mert stabilan le van fogatva. De az ábra többi részén a helyzet nem változott és 10 kHz-en gyakorlatilag egyik opciónál sincs változás.

Átviteli függvények

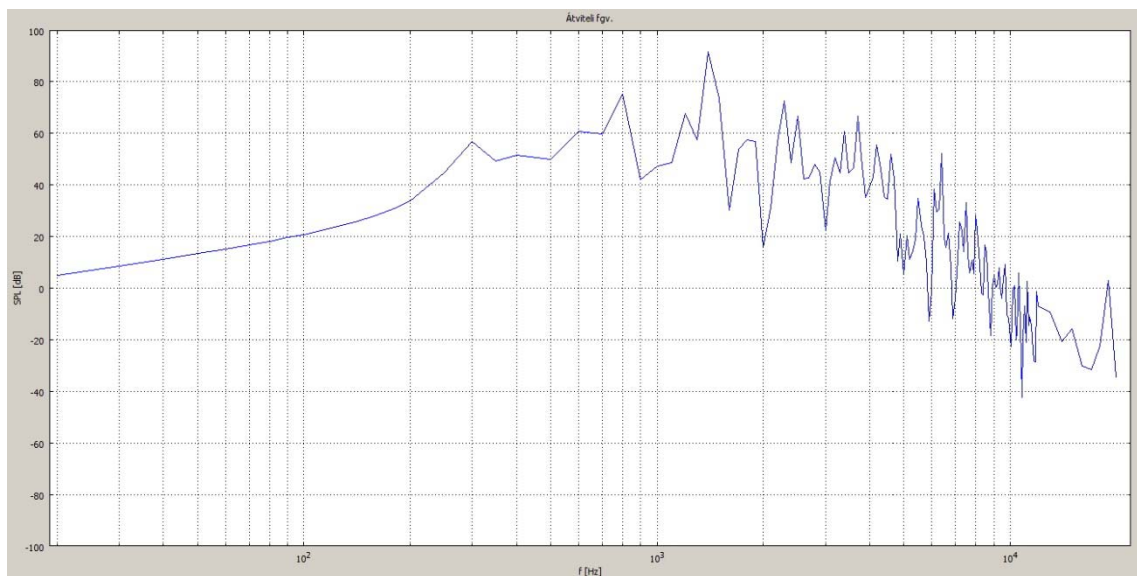
A legfontosabb eredményt azt gondolom az átviteli függvények fognak mutatni. Itt kiderül, hogy az előbbi szimulációk hogyan reagálnak a különböző frekvenciákra. A szimulációt 20-20000 Hz között fogom csinálni, tehát lefedi az emberi fül hallástartományát. Így lesz igazán látható, hogy milyen tartományban tudjuk használni az eszközt.



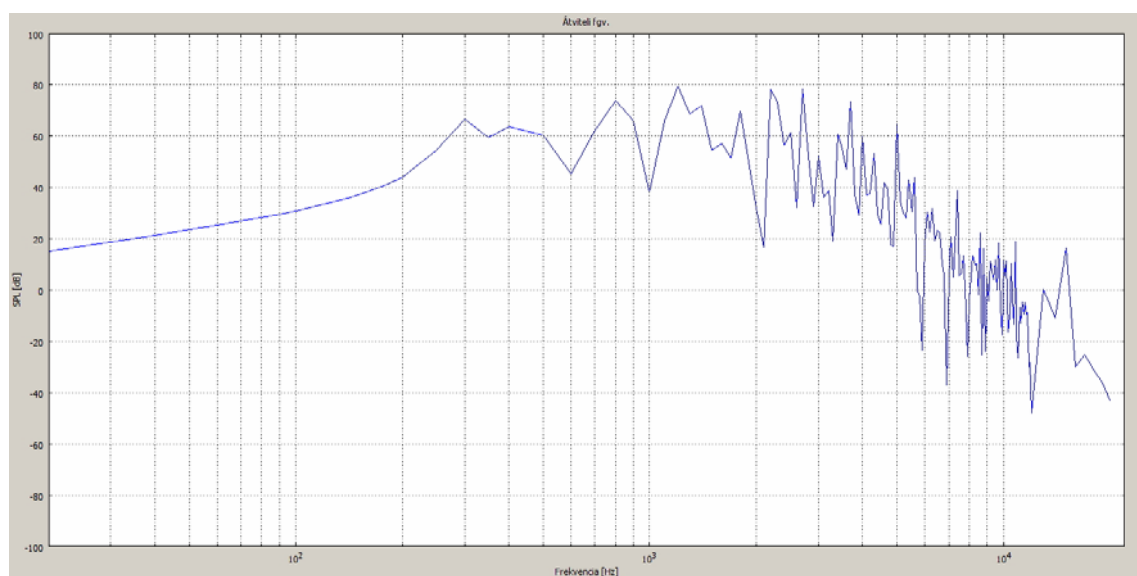
62.ábra: középen elhelyezett rezgető átviteli karakterisztikája.



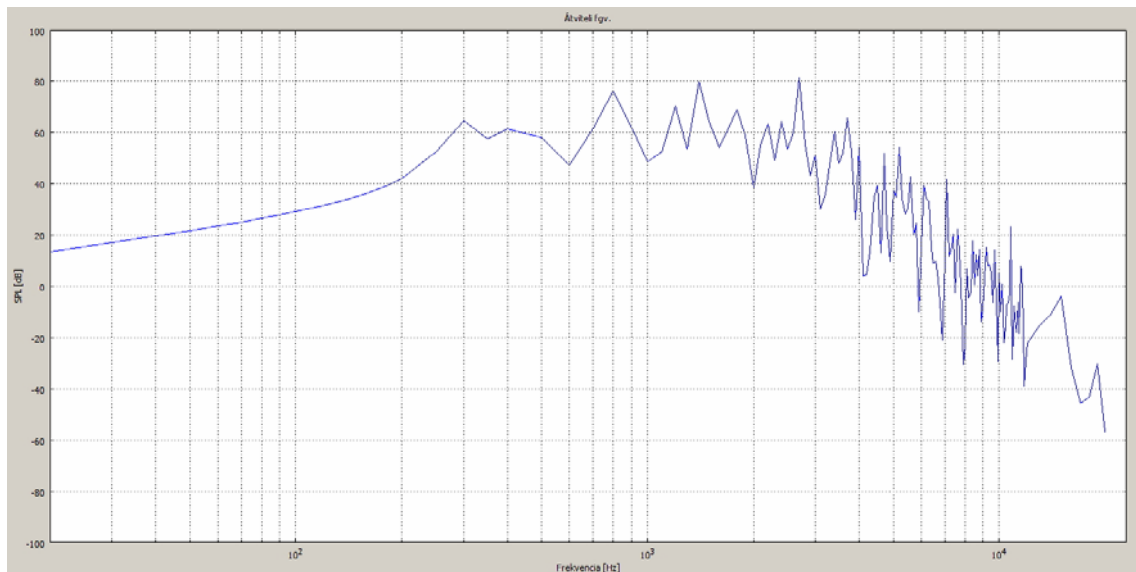
63.ábra: a rezgető eltolt állapotának átviteli karakterisztikája.



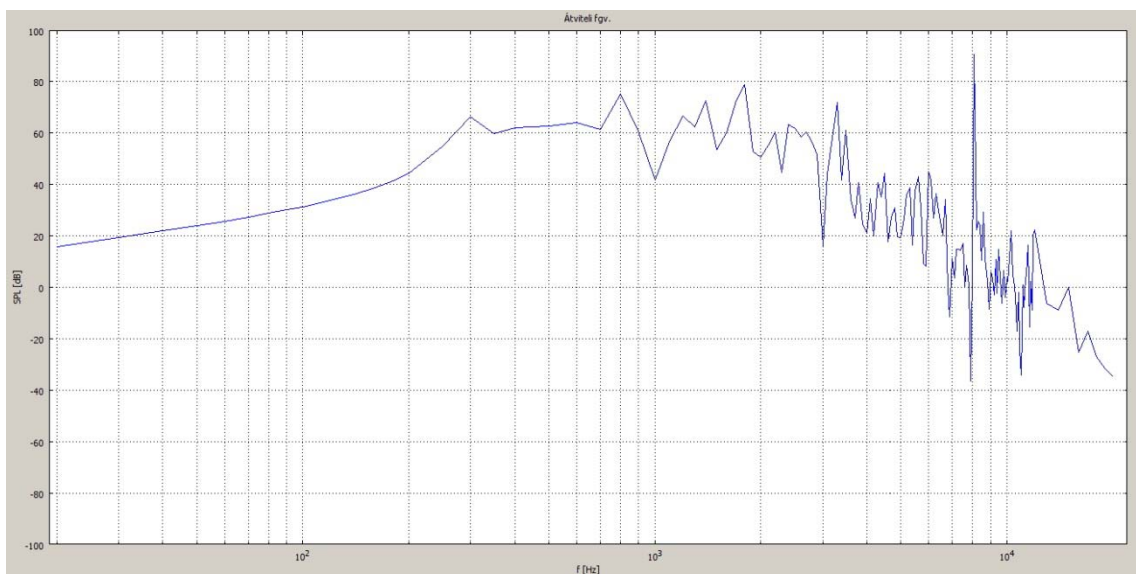
64.ábra: A sarokpontba helyezett rezgető átviteli karakterisztikája.



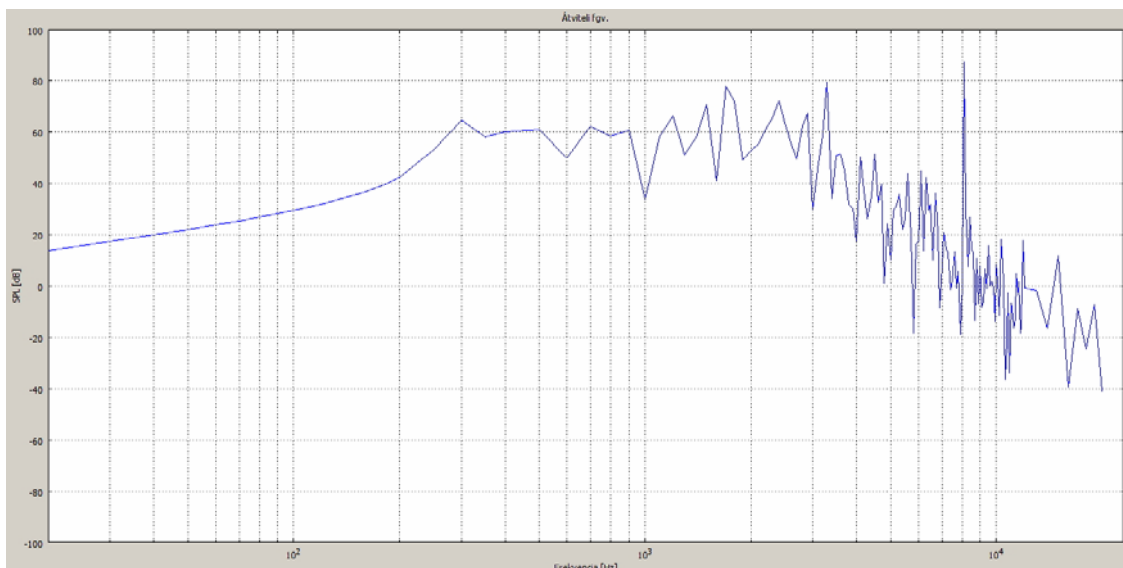
65.ábra: négy sarokban lefogatott, középen elhelyezett rezgető átviteli karakterisztikája.



66.ábra: négy sarokban lefogatott, a rezgető eltolt állapotának átviteli karakterisztikája.



67.ábra: keretbe fogva, a rezgető közepén elhelyezett állapotának átviteli karakterisztikája.



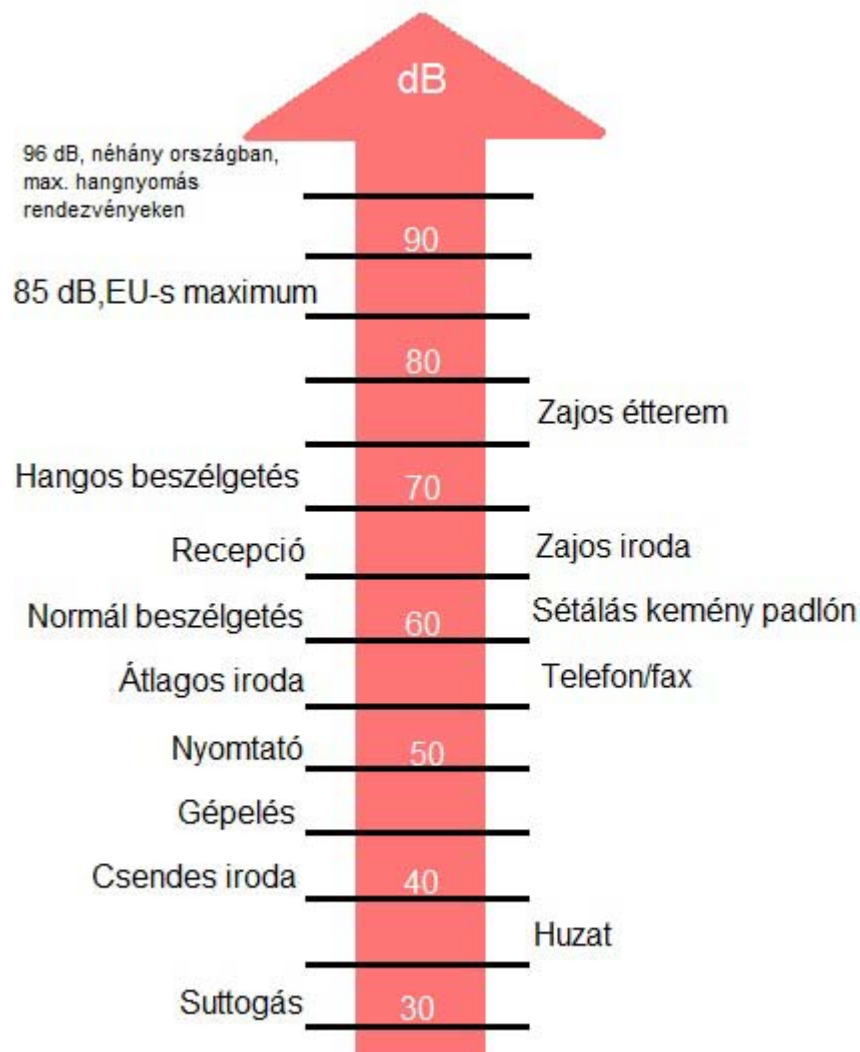
68.ábra: keretbe fogva, a rezgető eltolt állapotának átviteli karakterisztikája.

Az átviteli karakterisztikákat a rezgetőtől 1 méterre elhelyezett pontban vizsgáltam. Mivel az ábrák nagyon hasonlóak ezért 3 frekvenciát vizsgálnék: 300 Hz; 5 kHz és 12 kHz-en. Azért ezeket a pontokat választottam, mert az ábrákon itt látható változás a karakterisztikákban. Minden ábrán látható, hogy a mély hangoknál kb. 300 Hz-ig egy folyamatos növekedés látható. A rezgető jobban kezeli a mély hangokat, mint a magasakat, ezért rossz a hangnyomásszint 10 kHz-től felfelé.

Rezgető helye / Lefogatas módja	300 Hz	5 kHz	10 kHz
Középen elhelyezett	65	43	20
Eltolt	64	18	-5
2-szeresen eltolt	58	10	-18
4 sarokban lefogatott/középen elhelyezett	65	62	5
4 sarokban lefogatott/ eltol	63	38	-10
Körbefogva/ középen elhelyezett	65	21	2
Körbefogva /eltolt	65	11	-3

Látható a táblázat alapján, hogy a mély hangoknál a hangnyomás szint 65 dB-es értékeket mutat, mindegy milyen lefogatásról van is szó. 5 kHz-nél már láthatóak az

eltérések. A középben elhelyezett rezgető eseteiben még jó hangnyomás szintet mutatnak az ábrák, de itt is elég nagy a visszaesés mértéke. Nem meglepetésként 10 kHz-nél már nagyon rossz a hangnyomásszint minden esetben. Még az alap esetben, amikor a rezgető középben van elhelyezve, és az eszközt, mint ha belógatnánk az éterbe a rezgetőtől 1 méterre már csak suttogásként érzékelhető. Ebből látszik a korábbi állításom miszerint a mély hangokat jól kezeli a SolidDrive SD1G viszont a nagyfrekvenciás hangoknál már nem alkalmazható. Az átviteli karakterisztikából az is tisztán látható, hogy a rezgető sarokpont felé való közelítése is szintén nagyban visszaveszi a hangnyomásszintet. Ami a korábbi szimulációk alapján nem volt tisztázható. Mivel a számunkra az a lényeges, hogy a valóságban hogyan használható a rendszer, azt kell mondanom a szimuláció alapján, hogy a 4 sarokpontban lefogatott, középben elhelyezett rendszer a legmegfelelőbb.



69.ábra: hangnyomás szintek.

A mérések

A következőben az eddig elvégzett szimulációkat fogom megvizsgálni a gyakorlatban. Úgy gondolom jelentős eltérések fognak mutatkozni, mivel a szimuláció az teljesen ideális környezetet biztosít a rendszeremnek, ami az életben azért nem biztosítható. A mérések során a rezgetőt kétoldalú ragasztóval ragasztottam az üveglaphoz. Nagy tanulság volt: ahogy melegeedett a rezgető egyre könnyebben elvált a laptól. És mivel nem volt meg a megfelelő felfüggesztés, ezért jóval másabb értékeket kaptam. Az üveglap itt is olyan méretű volt, mint a szimulációban 50x50x0,6-os. A méréseket szabvány szerint 1 méter távolságban, főtengelyre merőlegesen végeztem. A mérés pontosságát az is befolyásolta, hogy a méréseket általam kívülálló okokból nem sikerült süketszobában végezni, ezért egy kis zajosság belekerült a mérésekbe, de ha az ábrák egyezést mutatnak, akkor azt mondhatjuk, hogy a mérési összeállítás jó. A méréseket Wersényi György hangtechnikai laborjában végeztem, ami effektív csendesnek mondható. [8.9.] A négy sarokpontban rögzített mérést olyan formában valósítottam meg, hogy hungarocelbe bevágtam az üveglap négy sarkához megfelelő rést, amely stabilan fogja az üveglapot. Az felfüggesztésmentes méréseknél pedig az üveglap 4 sarkát minimális érintkezéssel ráfektettem a hungarocel darabokra. A mérések egyik felében torzítást mértem a másik felében pedig az átviteli karakterisztikát vizsgáltam.

A méréshez az alábbi eszközökre volt szükségem:

- Soliddrive SD1G
- 50x50x0,6 üveglap
- R & S UP350 Audio Analyzer
- Sony TA –D505 Erősítő
- Behringer ECM 8000 Mérőmikrofon
- Csendes szoba

Torzításmérés

THD (Total Harmonic Distortion). A teljes harmonikus torzítás olyan nemlineáris torzítás, amelynél a termelt jelösszetevők frekvenciája a bemeneti jelösszetevők frekvenciájának az egész számú többszörösei. Az elektronikai eszközök különböző frekvenciákon különböző torzítással rendelkeznek és elmondható az is, hogy az esetek többségében kisebb frekvenciákon kisebb torzítással rendelkeznek. A teljes harmonikus torzítás egy arányszám, amely a felharmonikusok és az alapharmonikusokból tevődik össze. [10. 11.] A Hi-Fi szabvány 0,1%-ot ír elő. Szabvány szerint a méréseket a hangzó anyagtól 1 méter távolságban, a főtengelyre merőlegesen kell végezni 1 kHz-en.[12.]

Az alábbi táblázatban felsorolom a mért értékeket:

A rendszer alaptorzítása 0,03%. A torzítási szinteket az erősítővel állítottam be.

A következő táblázatban foglaltam össze a kapott értékeket:

Torzítás [%]	Jel+Zaj [dB]	Zaj [dB]	Jel [dB]
0,55	58,2	-11,18	47,02
0,85	65,9	-20,88	45,02
1	68	-29,22	38,78
1,5	67,7	-31,63	36,07
2	62,3	-34,96	27,34

A táblázat alapján látható hogy a torzítás növekedésével példának okáért 2%-os torzításnál már a hasznos jelünk csak 27,34 dB, ami nem mondható jónak 1 m-es távolságból. A torzítás mérés alapján azt kell mondanom, hogy ez az eszköz nem zenehallgatásra vagy akusztikai mérésekre lett kitalálva, de ezt a gyártó cég ajánlásánál is látható. Ezt méréssel sikeresen alátámasztottam.

Átviteli karakterisztikák mérése

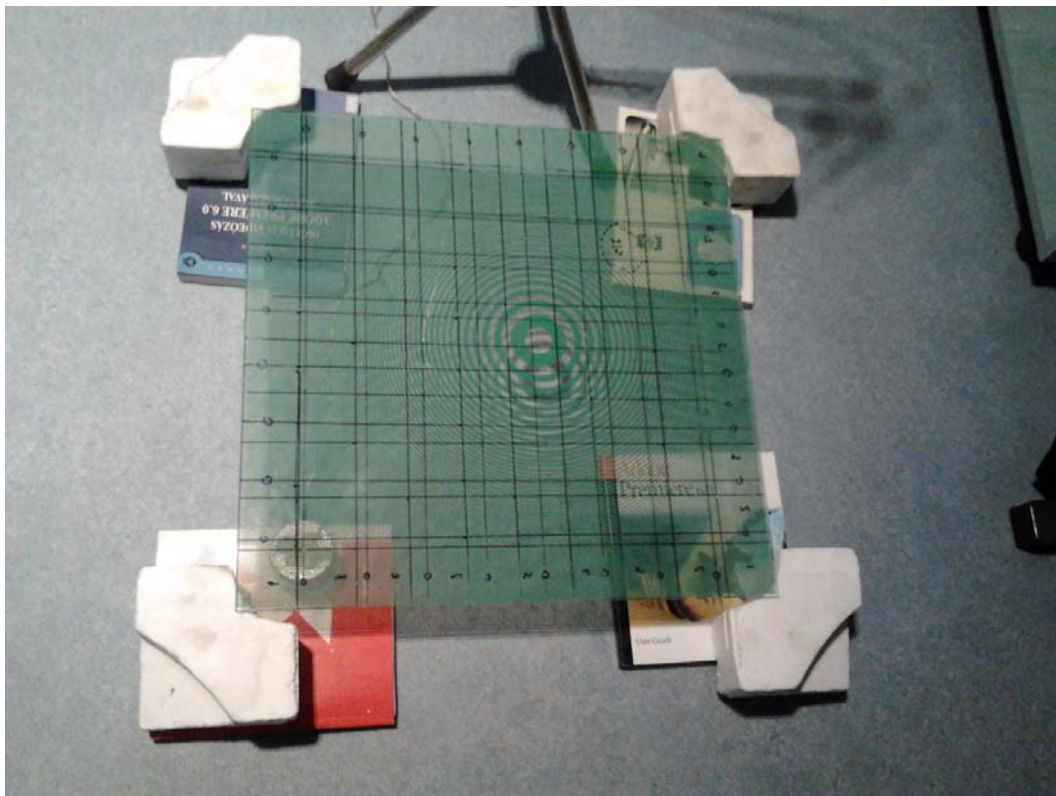
Az átviteli karakterisztika mérésekhez is az előzőekben leírt eszközökre volt szükségem. Az alábbi képeken látható a SolidDrive elhelyezése a rendszerben. Az első képen az üveglapot a hungarocelre helyeztem úgy, hogy a lehető legkisebb mértékben érintkezzen a hungarocellel. A második képen pedig az látható, ahogy a négy sarkánál fogva lefogattam a hungarocel darabokba.

Eszközbeállítások:

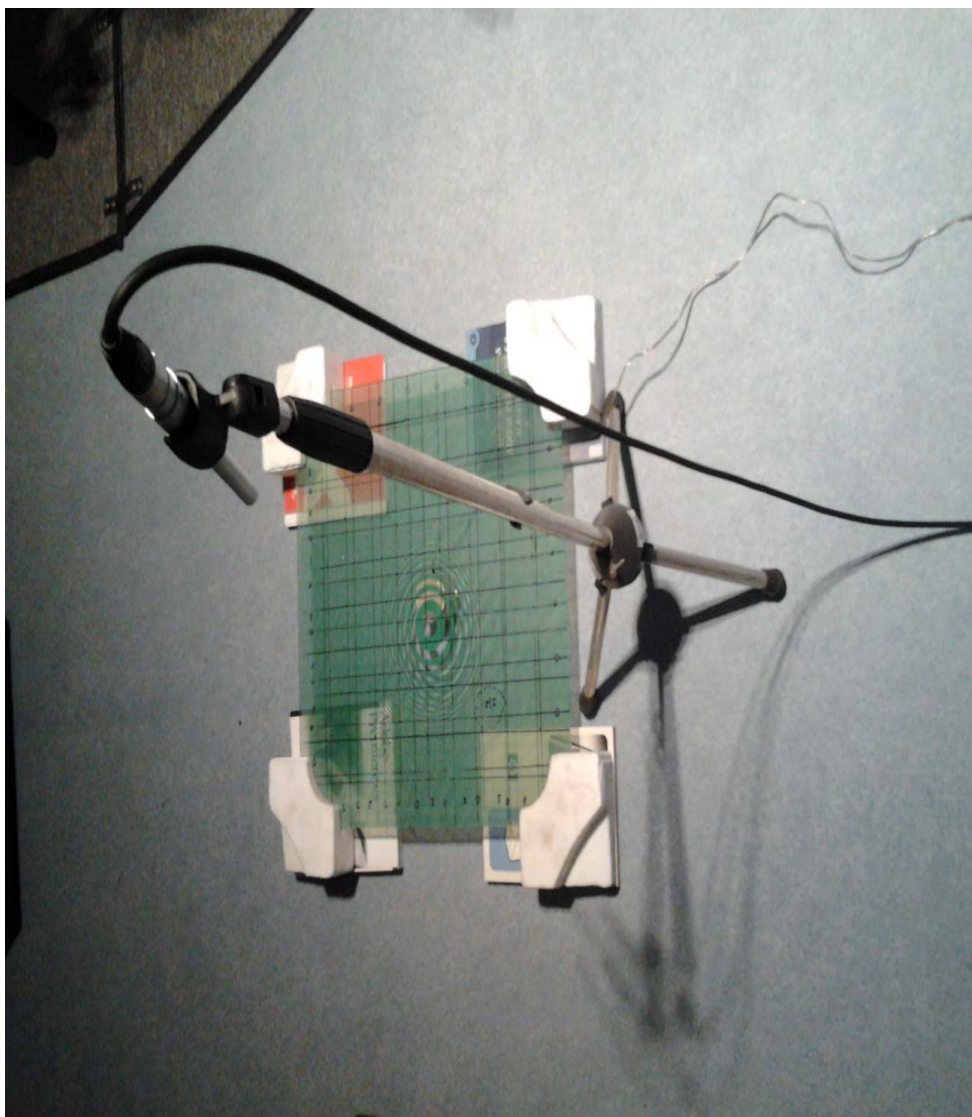
Az erősítőn az erősítési szintet középre állítottam, valamint mindenféle hangkiemelést kikapcsoltam. Tehát az erősítő alap állapotban volt.

Az R&S Audio Analyzer-en is minden féle szűrőt kikapcsoltam, hogy a ténylegesen mért jelet mérhessem. Az analízátort FREQ/DC/RMS üzemmódban plusz RMS szelektív üzemmódban használtam. A „Bandwith”-et tercenkénti mérésekre állítottam.

A generátorból pedig 775 mV-os Szinuszos jelet adtam ki. Sajnos az eszköz nem volt képes beállított sávszélességet végigmérni előre megadott lépésközzel ezért egyesével kellett végigmérnem az általam szükségesnek ítélt frekvenciákon, amelyet Excel segítségével rajzoltam meg utólag. Az átviteli karakterisztikát 5 különböző pozícióban mértem meg.



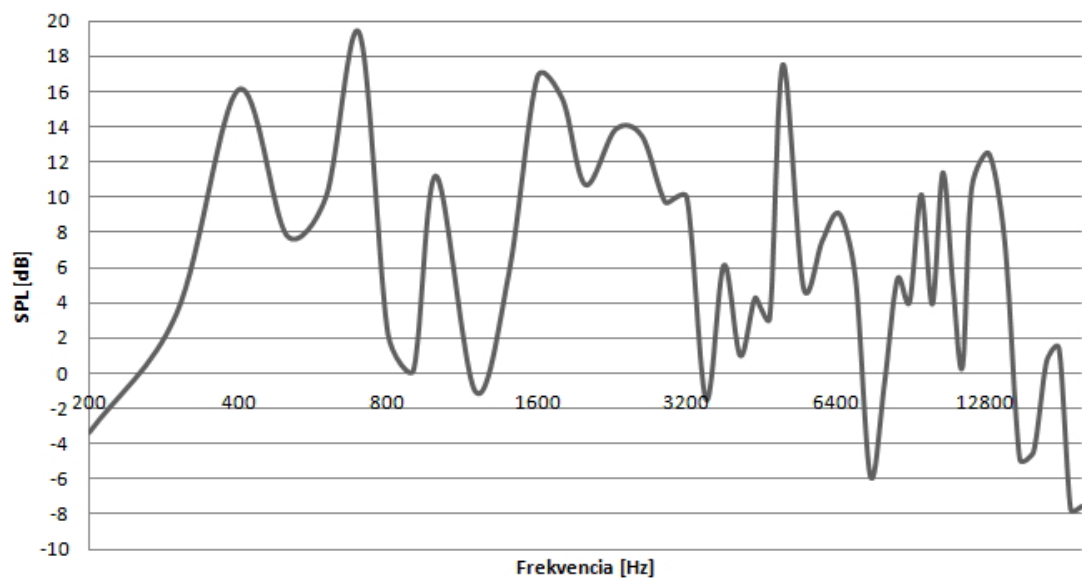
70.ábra: Mérés összeállítása 1.



72.ábra: Mérés összeállítása 2.

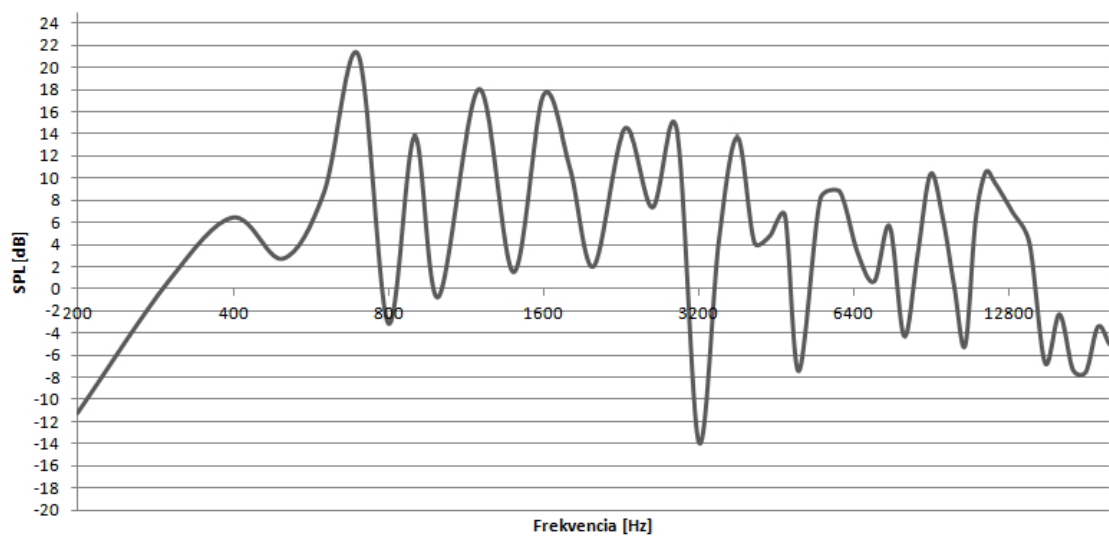
Átviteli karakterisztikák:

Átviteli karakterisztika (közép)



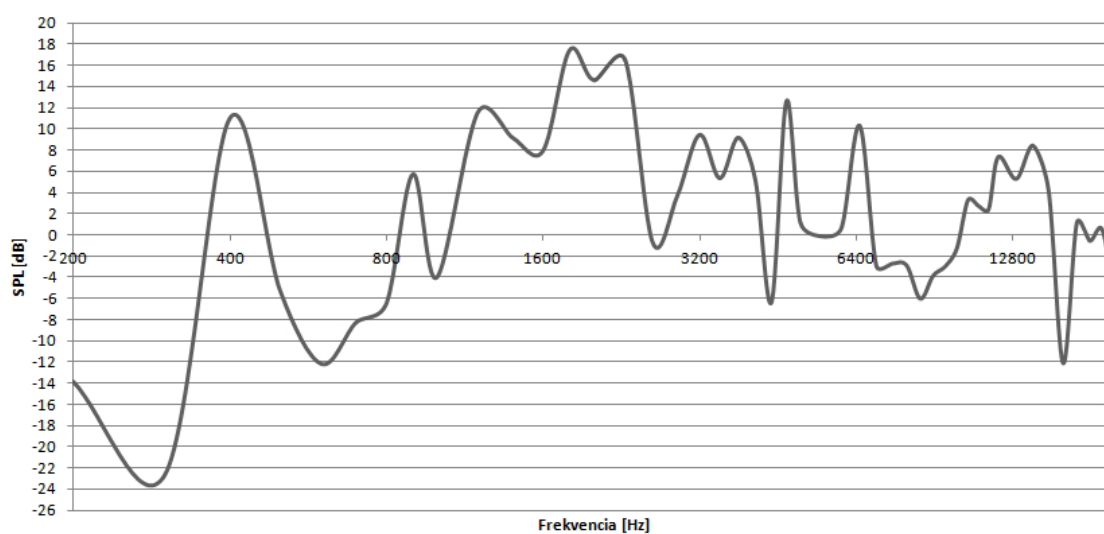
73.ábra.

Átviteli karakterisztika (eltolt)



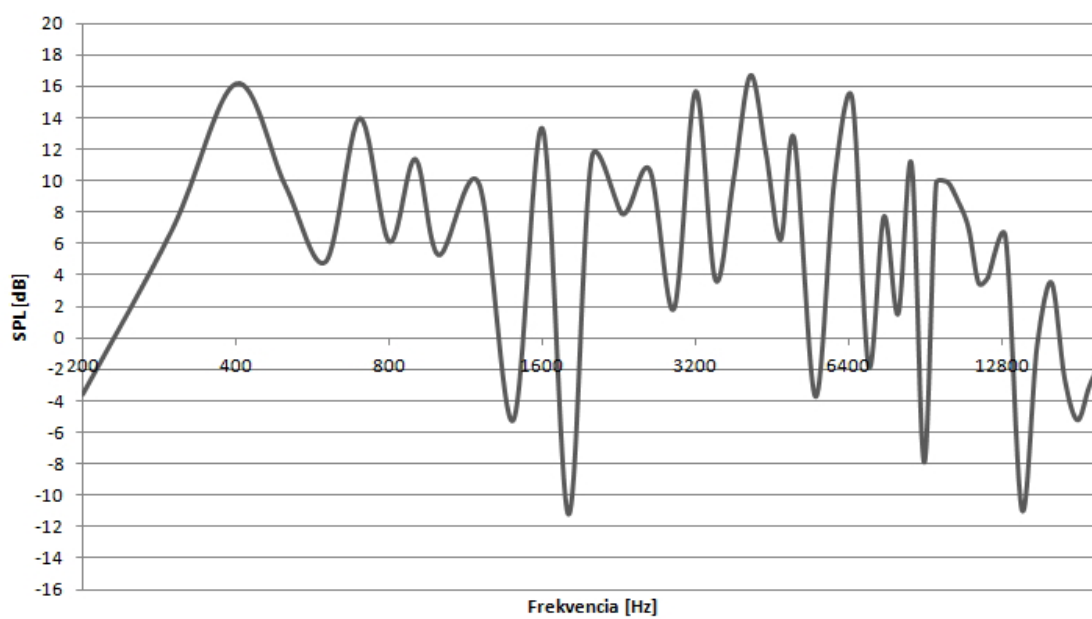
74.ábra.

Átviteli karakterisztika (2-szer eltolt)

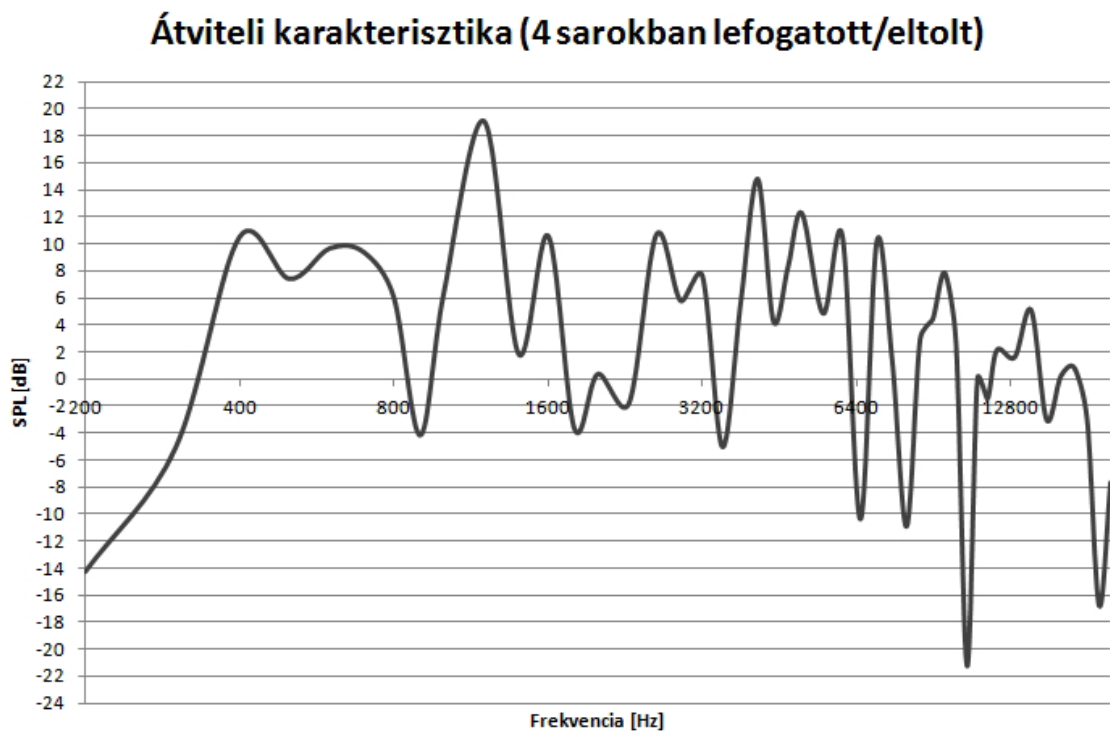


75.ábra.

Átviteli karakterisztika (4 sarokban)



76.ábra.



77.ábra.

A mért értékek átviteli karakterisztikájában megfigyelhető a mélyebb hangoknál, hogy kicsi a hangnyomás szint, de folyamatosan emelkedik, 400 Hz-ig. 400 Hz-nél aztán van egy törés és tovább emelkedik. A következő jelentős változás 5 kHz környékén van, ahonnan el kezd csökkenni a hangnyomás szint. És végül 12 kHz felett az látható, hogy már negatív értékeket mutat. Ebből azt a következtetést lehet levonni, hogy a SolidDrive SD1G a 400-12000 Hz közötti tartományban működik megfelelően.

Konklúzió

A Diplomamunkámban azt kaptam feladatomul, hogy az előttem Skripek Péter által készített szakdolgozatot tovább fejlesszem. Ő elvégezte az anyagi függés, forma, vastagság és méret szerinti méréseket és szimulációkat. Én fixen 50x50x0,6-os üveglappal dolgoztam. Az én feladatom a rezgető elhelyezésének szerepe, az üveglap lehetséges lefogatási módszereivel, valamint precízebb átviteli karakterisztikát kellett készítenem és ezeket mérésekkel is alá kellett támasztanom. A mérések és a szimuláció folyamán 20-20000 Hz-ig vizsgáltam, mivel ez az emberi fül hallástartománya.

A szimulációkat 7, míg a méréseket 5 különböző álláspont szerint végeztem:

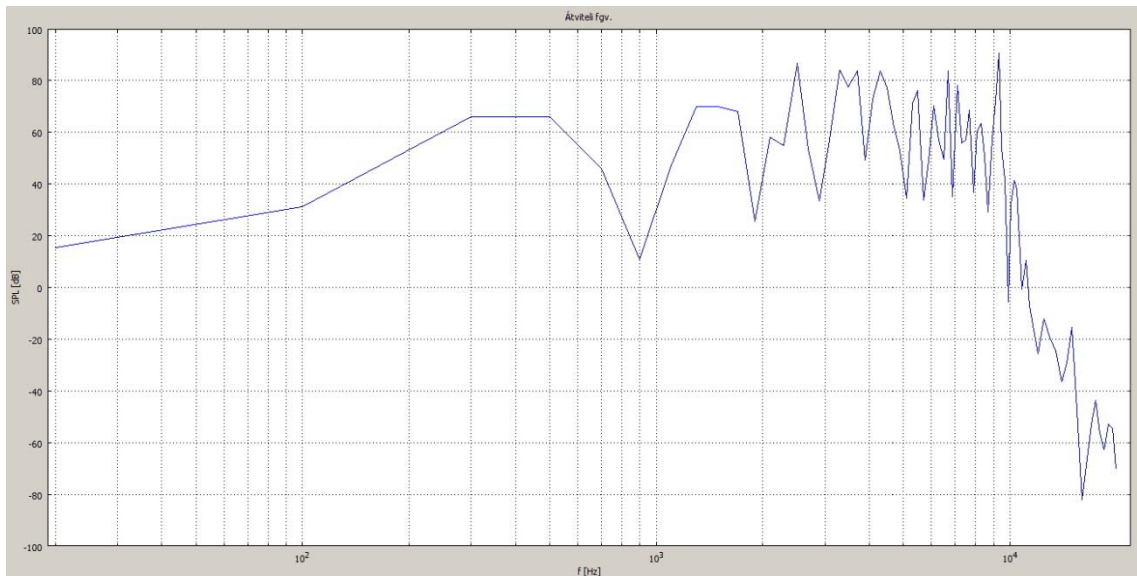
- A rezgető középső állása az üveglapon
- A rezgető eltolt állapota az egyik sarokpont felé
- A rezgető egyik sarokpontba helyezése
- Az üveglapot a négy sarkánál lefogatom, a rezgető középen van
- Az üveglapot a négy sarkánál lefogatom, a rezgetőt közelítem az egyik sarokponthoz
- Az üveglapot keretbe foglalom, a rezgető középen
- Az üveglapot keretbe foglalom, a rezgetőt közelítem az egyik sarokhoz

Az első 5 ponttal méréseket és szimulációt is készítettem, az utolsó kettővel csak szimulációt.

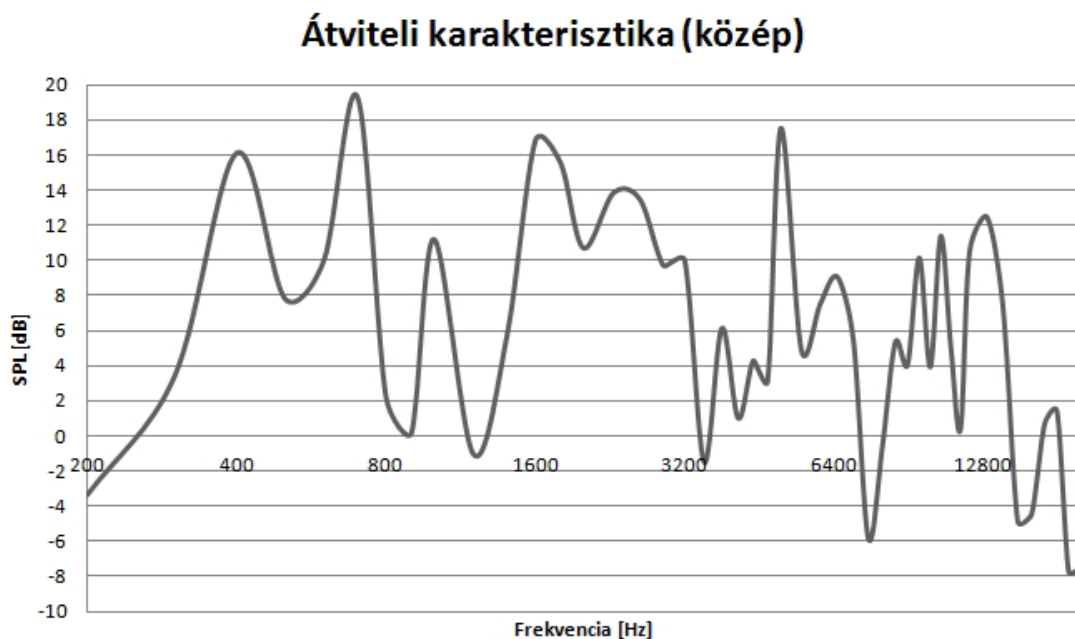
Először a szimulációkkal kezdtem, azon belül is a rezgésmérésekkel. A rezgésmérések alapján látható, hogy a SolidDrive teljes mértékben kihasználja a rendelkezésre álló hangzóanyagot irányítottság nélkül. A 10 kHz-es szimulált eredménynél látható, hogy az amplitúdók lecsökkennek és kisebb kiterjedésű rezgéspontok alakulnak ki. Ezután iránykarakterisztikai szimulációkat csináltam. Az iránykarakterisztikáknál nem látható irányítottság, ezzel alátámasztottam a cég által szabadalmaztatott eszközt, az is jól látható a képek alapján, hogy 10 kHz-nél már nem beszélhetünk átvitelről. De ezt az átviteli karakterisztika szimulált és mért értékei jobban reprezentálják.

Az átviteli karakterisztikákról nem mondhatom el azt, hogy teljes mértékig hasonló ábrákat kaptam. Nyilván a szimuláció jóval precízebb és minden közrejátszó fizikai tényezőt kizár. Ez egy teljesen ideális állapotot garantál. A mérésekbe bármilyen jellegű zavarok belekerülhettek ilyen például az épület rezgése, a folyosón közlekedő emberek

hangja valamint a rendszer is adott némi zajt a mért értékeimbe. Lássuk a rezgető közepén elhelyezett ábráit.



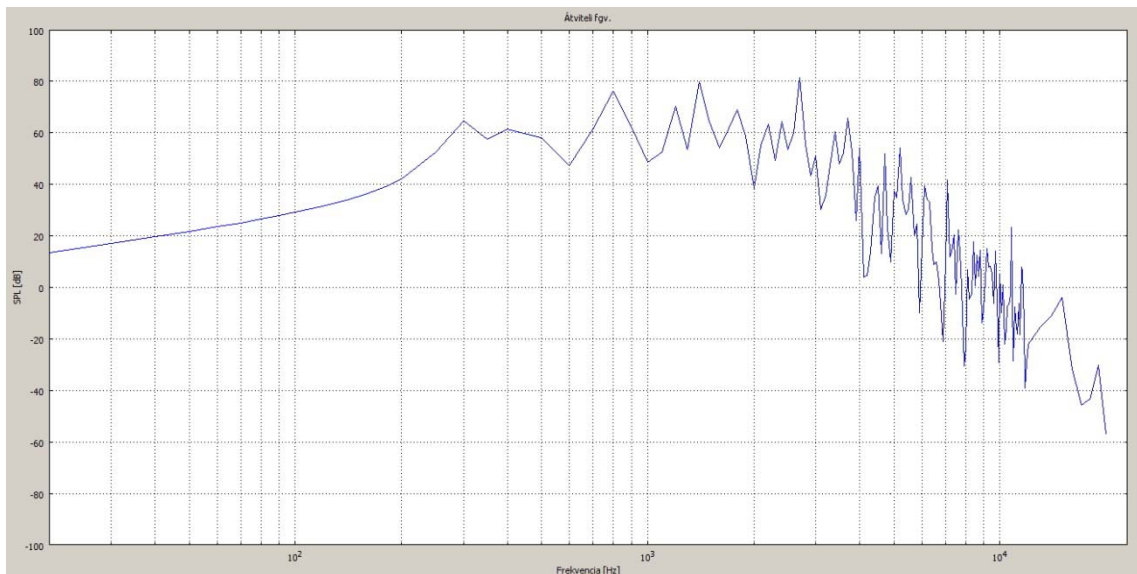
78.ábra.



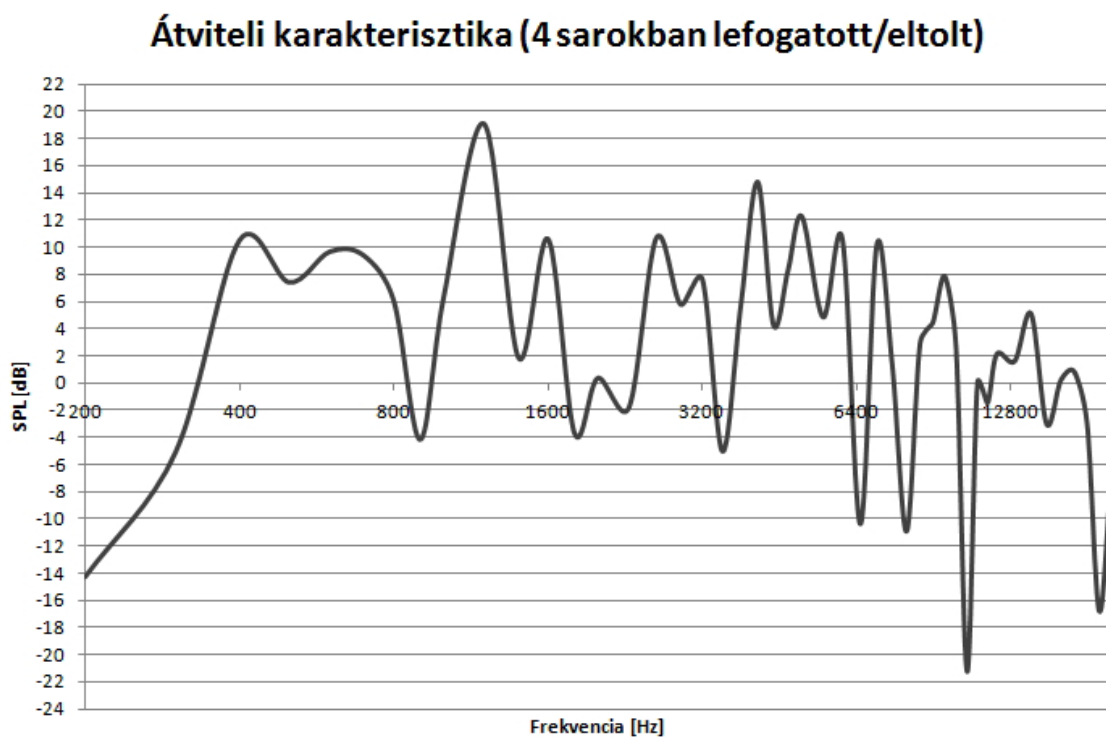
79.ábra.

Az első ábra a szimulált eredményeket mutatja a második pedig a mért értékeket. Látható, hogy 400 Hz-ig növekszik, aztán ott van egy törés és 10 kHz-ig jó a hangnyomásszint. Végül pedig 10 kHz-től pedig újból csökkenés figyelhető meg. Itt már nem jó a hangátvitel.

A következő két kép pedig a négy sarokban lefogatott üveglapot mutat:



80.ábra.



81.ábra.

Ez az eset is teljesen hasonló az előbbihez mély hangoknál és 10 kHz felett már nem jó az átvitel. Ennek alapján azt mondhatom, hogy a mérések és a szimulációkat jól végeztem el. Végző eredményként azt mondhatom el, hogy az eszköz 400-10000 Hz-es tartományban kiválóan működik, irányítottság nem tapasztalható. Valamint azt kell elmondanom, hogy a lefogatott állapotban mért értékek nem térnek el az úgymond

szabad állapottól. Tehát a SolidDrive SD1G nagyon jól megállja a helyét, ha nem zenehallgatásról vagy akusztikai mérésekről van szó. Nyilván nem is erre lett kitalálva, de ezt sikerült is alátámasztanom úgy gondolom. Ha ajánlást kellene tennem az üvegmembrános hangszórók elhelyezéséről, akkor azt mondanám hogy, én a középen elhelyezett rezgetős és a 4 sarokpontban lefogatott módszert ajánlom, mert minden mért érték itt mutatkozik a legjobbnak és gyakorlati kivitelezése is a legmegbízhatóbb.

Irodalomjegyzék

- [1.] Skripek Péter Szakdolgozata: Hangzóanyagok - indirekt módon rezgetett hangkeltő rendszerek mérése és szimulációs vizsgálata, 2011
- [2.] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/Hbase/audio/spk.html>
- [3.] http://hu.wikipedia.org/wiki/Hangsz%C3%B3r%C3%B3#Leng.C5.91nyelves_hangsz.C3.B3r.C3.B3
- [4.] <http://mitglied.multimania.de/whiteful/lexicon/lexh.htm>
- [5.] <http://www.soliddrive.com/technology.html>
- [6.] <http://www.feonic.hu/index.php?target=f4.html>
- [7.] <http://www.comsol.com>
- [8.] Dr Wersényi György- Műszaki Akusztika (Egyetemi jegyzet,SZE-MTK,2008)
- [9.] Dr Wersényi György- Bevezetés a stúdiótechnikába (Egyetemi jegyzet,SZE-MTK 2008)
- [10.] <http://abacushang.uw.hu/tudastar.html>
- [11.] <http://soundwizard.hu/book/book-17.html>
- [12.] http://en.wikipedia.org/wiki/High_fidelity