

Tartalom

Bevezetés	2
Pioneer TS-Q131C	5
SolidDrive SD1g	6
A konkurencia.....	8
Feonic F4:	8
Powerview Model 7074:.....	8
A mérés	10
A mérés leírása	13
A mérés összeállítása	13
A szimuláció	19
A mérés és a szimuláció összehasonlítása	20
Szimulációs eredmények	26
A méretek változásának hatása	26
Az üveglap-vastagság változásának hatása.....	31
A forma hatása	37
Alapanyagok közötti különbség	48
Konklúzió.....	64
Irodalomjegyzék	66
1.sz.melléklet	67
2.sz. melléklet	86

Hangzóanyagok - indirekt módon rezgetett hangkeltő rendszerek mérése és szimulációs vizsgálata

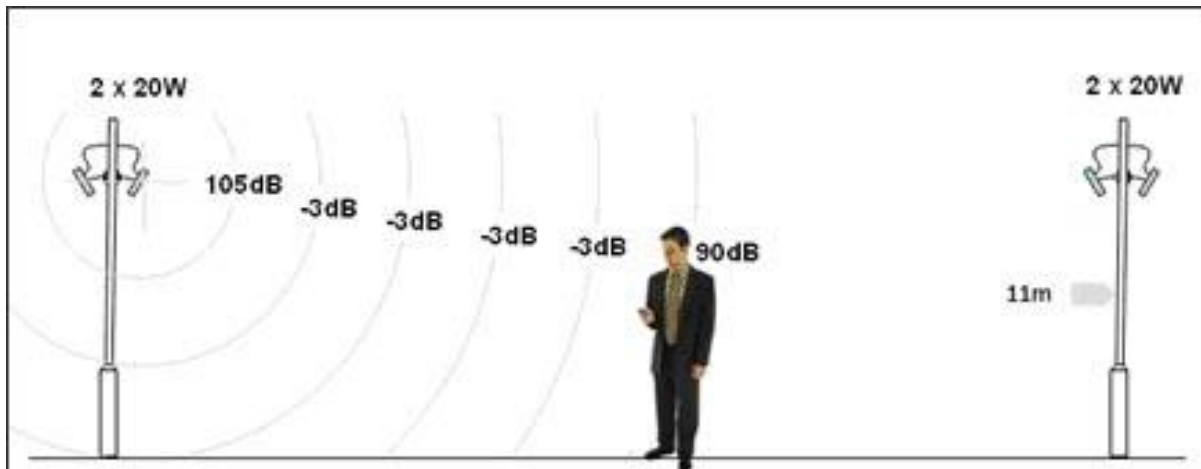
Bevezetés

A legismertebb hangszórótípusok a dinamikus és a piezoelektromos hangszórók. Aki otthon van az akusztika világában, annak még nem újdonság a plazmahangszóró sem. De mi is az az indirekt módon rezgetett hangkeltő rendszer?

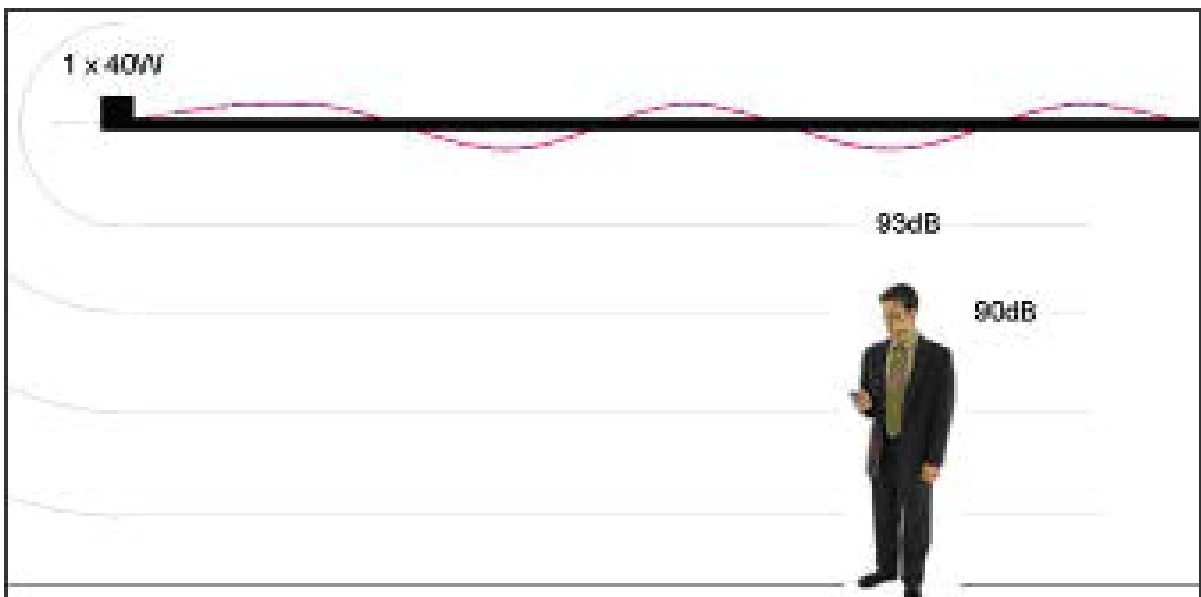
Esetemben az indirekt rezgető szerepét a SolidDrive SD1g tölti be. A „hangszóró” pedig egy olyan tárgy, ami önmagában nem elektroakusztikus átalakító, hanem bármilyen megfelelő merevségű, méretű és tömegű tárgy. Ez a tárgy lehet egy fa asztal, egy gipszkarton fal, egy ajtó, egy ablaküveg, stb. Esetemben főként üveglapok töltik be a hangszóró szerepét egy ügyes szerkezet segítségével: nevezzük hangzó üvegnek. A hangzó üveg már néhány éve jelen van a piacon, az átlagember azonban mégsem sűrűn találkozhatott vele. Már eddig is ismertek voltak a piacon olyan hangszórók, amelyeknek a háza üvegből készült, azonban ebben az esetben a hangforrás egy normál hangszóró és csak a hangdoboz anyaga volt üveg. A hangzó üveg esetén viszont a hangforrás maga az üveglap, melyet egy speciálisan erre a célra kifejlesztett rezgető szólaltat meg.

Míg a hagyományos hangszóró technológia által létrehozott hang a levegőben való közvetítéskor körülbelül 3dB/méter hangerő veszteséget szenved el, addig a SolidDrive által rezgésbe hozott anyag közvetítésével létrehozott akusztikus jel vesztesége rendkívül alacsony. Ennek oka, hogy ez utóbbi esetben a hangforrás mérete lényegesen nagyobb lehet, mint egy hangszóró esetében. Ezért nem, mint pontforrás van jelen a térben, tehát a létrejött hullámok sem gömbhullámok, hanem sokkal inkább síkhullámok, és ezek vesztesége a távolság függvényében alacsonyabb a gömbhullámokénál. Ebben az esetben akár 2-4 méterről sem lehet megállapítani a hang forrásának egy adott pontját. A hangkeltők felhasználási területei a mai

építmények nagy részét magában foglalja, mint például metró állomások, várótermek, repülőterek, hajók, tengeri építmények és nagyobb járművek. Egy szóval mindenhol, ahol érthetően kell az információt eljuttatni a közönségnek, minden felesleges mellék zajtól mentesen.



1. ábra



2. ábra

STI = Speech Transmission Index

Az STI-t magyarra, mint beszédérthetőségi index fordíthatjuk. Az STI a beszéd átvitelének minőségére ad számértéket. A mérések során figyelembe kell venni a hangtér kialakulásához hozzájáruló elemeket, mint például a szoba mérete, formája,

a hangszóró típusa, stb. Az STI egy objektív mérőszám, mely megmondja, hogy a hang terjedése során milyen torzulásokat szenved el a csatorna miatt és ez milyen hatással van a beszédérthetőségre.

A beszédérthetőséget jelentősen befolyásolják:

- a forrás hangereje
- nemlineáris torzítások
- háttérzaj
- a forrás minősége
- visszhang
- utózungési idő
- maszk hatás

Az STI egy 0-1 közé eső szám, 0 a legrosszabb, míg 1 a legjobb beszédérthetőséget jelenti. A vizsgálat során szótag, szó és mondatérthetőséget vizsgálnak. Az agy hallás utáni szövegértésének hibajavítása a szótagok értelmezésekor a legrosszabb és a mondatok értelmezésekor a leghatásosabb.

STI Value	Quality according to IEC 60268-16	Intelligibility of Syllables in %	Intelligibility of Words in %	Intelligibility of Sentences in %
0 - 0.3	bad	0 - 34	0 - 67	0 - 89
0.3 - 0.45	poor	34 - 48	67 - 78	89 - 92
0.45 - 0.6	fair	48 - 67	78 - 87	92 - 95
0.6 - 0.75	good	67 - 90	87 - 94	95 - 96
0.75 - 1	excellent	90 - 96	94 - 96	96 - 100

3. ábra: STI értékek

Az STI 0-0,3 közé esik (tehát a legrosszabb tartomány), ha 100 szótag közül csak 0-34 felismerhető, tehát 0-34%-os, a szavak esetén 0-67%, mondatok esetén 0-89%. Az STI 0,75-1 közé esik (tehát a legjobb tartomány), ha a szótagok érthetősége 90-96%, a szavaké 94-96%, míg a mondatoké 96-100%.

Kimagasló módon a SolidDrive hangkeltőkkel elérhető beszéd érthetőségi indexe (STI) elérheti a 0,75 pontot, ami rendkívül jó érték. A hangkeltők e nagyszerű tulajdonsága lehetővé teszi az épületek akusztikai tervezésével foglalkozó mérnökök számára, hogy spóroljanak a hangsugárzók darabszámán, azok kiépítési költségén és a rendszer által felhasznált energiával. Ez összességében jelentős költségcsökkentést eredményez a hagyományos technológiával szemben. Természetesen kisebb szerkezeti elemeket is fel lehet használni akár térhangzású hang előállítására is különösen akkor, ha a hangkeltőket a kívánt helyszín fölé, alá, vagy oldalába helyezzük el. A technológia nagy előnye, hogy teljes mértékben elrejtethető a használni kívánt felület mögött, így megőrizve a belső tér összhangját. Mivel az erőteljesen szórt elosztású hangnak nincs egy forráspontja, így sokkal kisebb a létrejövő visszhang, ez által érthetőbb, tisztább hangot hallunk.

A normál hangszórók esetén fontos paraméterek az impedancia, a terhelhetőség (teljesítmény), az érzékenység, a sáv szélesség, membrán átmérő. Példaként egy átlagos hangszóró esetén a következő értékeket ismerjük:

Pioneer TS-Q131C



4. ábra

- impedancia: 4 Ohm
- maximális terhelhetőség: 180 W
- névleges terhelhetőség: 35 W

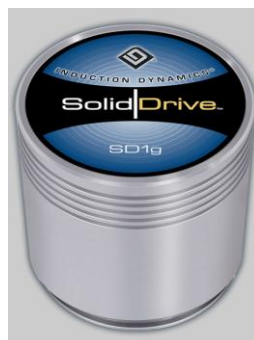
- érzékenység: 90 dB
- sávszélesség: 40-28000 Hz
- membrán átmérő: 13 cm

Az indirekt rezgetők esetén is hasonló értékek a fontosak, de természetesen itt például a membránátmérőt nem érdemes megadni, hiszen mi magunk helyezzük fel a kívánt felületre. Éppen ezért hiányolom azt, hogy egyik gyártó sem ad meg javasolt tárgyakat, amire a rezgetőt felhelyezve megfelelő (adott) minőségű hangzást kapunk. Gondoljunk csak példaként a mélysugárzókra, ahol sok esetben megkapjuk támpontként a gyártótól az ajánlott ládaméretet, amibe be kell szerelni. Éppen ez a hiányosság késztetett arra, hogy kiderítsem, különböző méretű és anyagú tárgyak esetében milyen lesz a kialakult hangtér.

SolidDrive SD1g

Tulajdonságok:

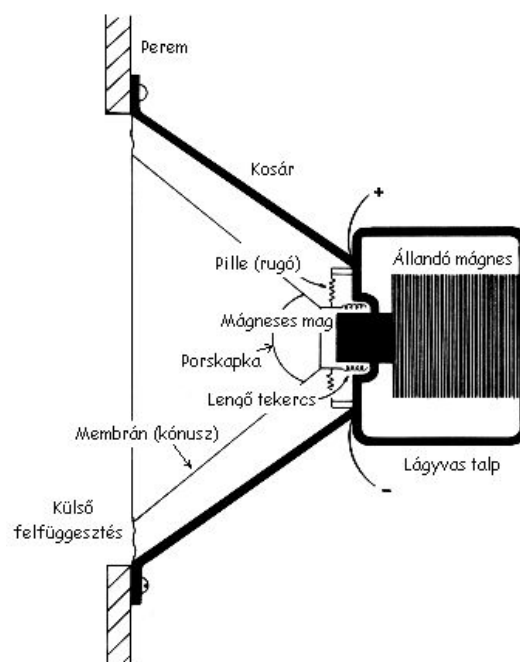
- szélessávú
- impedancia: 8 Ohm (mért érték: $6,8 \cdot e^{j6.55^\circ}$ Ohm, Lásd: 2.sz.melléklet)
- sávszélesség: 70Hz-15kHz (erősen függ az alkalmazott üveglaptól)
- tömeg: kb. 0,5kg
- ajánlott erősítő teljesítmény: 10-100W
- a vezérlő jel maximális teljesítménye 100W (folyamatosan 25W) lehet
- érzékenység: nincs megadva



5. ábra

A rezgető bármilyen merev felületre rögzíthető, legyen az üveg, gránit, fa, stb. A gyártó kínál kifejezetten fa felületre rögzíthető (csavarozható) rezgetőt is.

Dinamikus hangszóró esetén a működési elv: az erősítőből kapott jel áthalad a hangszóró tekercsén, ott megváltozik a mágneses tér és mivel a tekercs egy fix mágnesben helyezkedik el, a változó mágneses tér hatására mozogni kezd. Mivel általában a tekercs a membránra van rögzítve (néhány esetben a tekercs fix, és a mágnes van a membránhoz rögzítve), ez a mozgás okozza a membrán kitérését, ami a levegőben nyomáshullámokat hoz létre, amiket a fülünk érzékel.



6. ábra

Sajnos a SolidDrive és a később megemlített többi gyártó is titokban tartja az eszköz pontos működési elvét és felépítését. Amit elárulnak, hogy a rezgetők egy nagy teljesítményű neodímium mágnessel és kettő szimmetrikusan ellentétesen működő motor segítségével alakítják az elektromos jelet rezgéssé. Ezt a feladatot a rezgetők rendkívül jó hatásfokkal végzik, szinte bármilyen felület megszólaltatásához elegendő 5-20W teljesítmény. SolidDrive esetén valószínűleg az eszköz élettartamára sem lehet panasz, hiszen a gyártó 7 év garanciát vállal a termékére.

A konkurencia

Hasonló rezgetőket találhat a felhasználó a piacon más gyártóktól is, melyek közül kettőt emelnék ki:

- PowerView
- Feonic

Mindkét gyártó esetén a működési elv megegyezik az eddigiekkel, árban, teljesítményben is hasonló termékekkel vannak jelen a piacon, mint a SolidDrive.

Feonic F4:

- szélessávú
- impedancia: 4 Ohm
- tömeg: kb. 370g
- a vezérlő jel maximális, folyamatos teljesítménye: 20W
- sávszélesség: 100Hz-20kHz (felületfüggő)
- érzékenység: nincs megadva



7. ábra

Powerview Model 7074:

- szélessávú
- impedancia: 8 Ohm
- sávszélesség: 70Hz-15kHz (erősen függ az alkalmazott üveglaptól)
- tömeg: kb. 0,5kg
- ajánlott erősítő teljesítmény: 10-100W

- a vezérlő jel maximális teljesítménye 100W (folyamatosan 25W) lehet
- érzékenység: nincs megadva



8. ábra

A mérés

Az egyes anyagjellemzők hatását a kialakult térre szimulációval szeretném meghatározni, előtte azonban szeretnék meggyőződni a szimulációs eredmény hihetőségéről. Tehát a mérés szerepe a szimuláció igazolása. A mérés során a SolidDrive-ot különböző üveglapokra ragasztom, majd megmérem az üveglapon kialakult rezgésmódusokat. Ezután a kapott eredményt összevetem a szimuláció során kapott eredményekkel, és egyezés esetén a szimulációval vizsgálom tovább az anyagparaméterek változásának hatását. Azért a rezgésmódusok mérését választottam, mert ezek mérése relatíve könnyen, gyorsan megoldható (pl.: iránykarakterisztika mérése esetén szükség lett volna több, pontosan kijelölt helyen elhelyezett mérőmikrofonra, süketszobára). Amennyiben a rezgésmódusok mérése kettő üveglapra közel azonos eredményt hoz a szimuláció eredményeivel, úgy a szimulációt elfogadhatónak ítélem, és a további eredményeket szimuláció útján szeretném bemutatni.

A méréshez használható mérőjelek:

- szinusz
- sweep
- zajok
- MLS

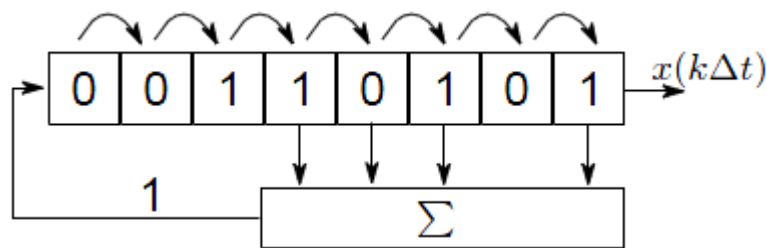
Színusz jellel történő mérés fontos lehet az iránykarakterisztika, illetve a torzítás mérése esetén. Ebben az esetben egy adott frekvenciával vizsgáljuk az átvitelt.

Sweep jel esetén, egy frekvenciatartományon „fut” végig a mérőjel. A frekvenciatartomány eleje-vége a felhasználó beállításaitól függ, de érdemes a teljes hallható tartományban (20Hz-20kHz) végezni a vizsgálatot.

Zajok közül fontos mérőjel a fehérzaj. Ezt a jelet használjuk például átviteli karakterisztika mérésére. A fehér zajra ugyanis az jellemző, hogy teljesítménye egyenletesen oszlik meg a teljes frekvenciatartományon, vagyis tetszőlegesen megválasztott, de adott szélességű frekvenciaintervallumba azonos zajteljesítmény esik. Pontosan e tulajdonsága miatt hívjuk – optikai mintára – fehér zajnak.

MLS jel

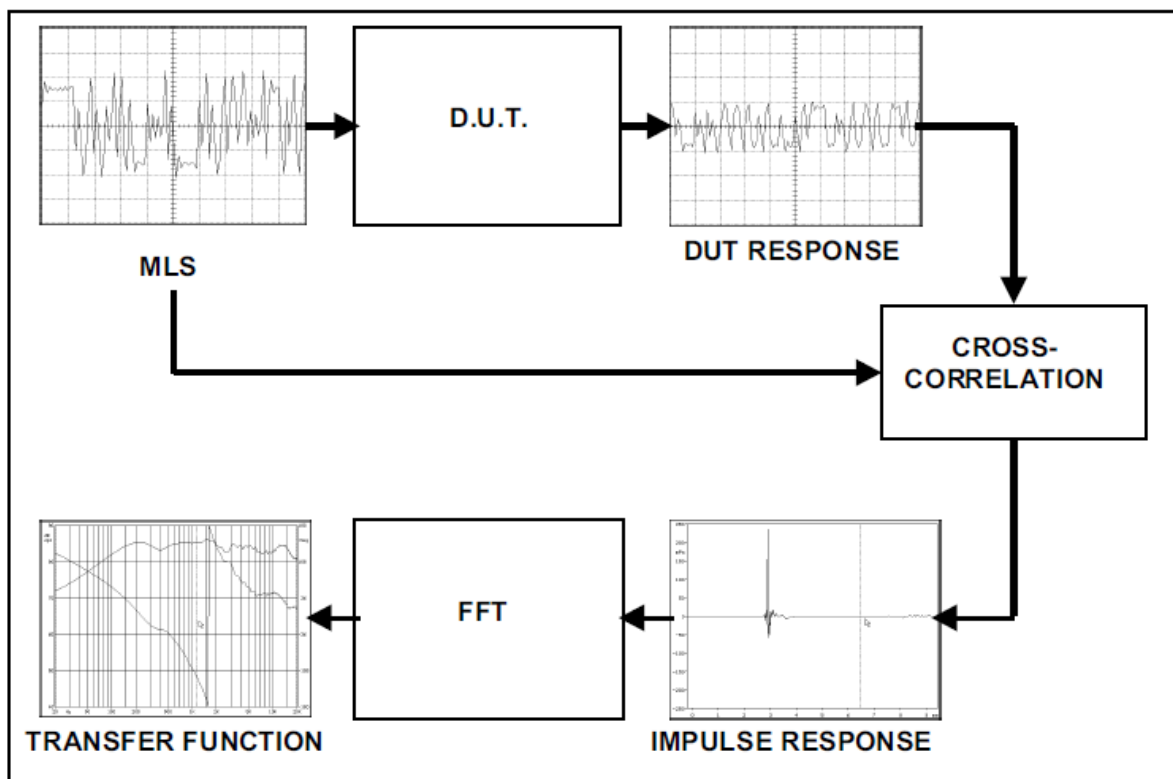
Az impulzusválasz mérésére kifejlesztett zajszerű jelforma. Pontosabban és egyszerűbben előállítható jel, mint a Dirac-impulzus. Az MLS (MLS = Maximum Length Sequence) jel ún. álvéletlen jel, ami azt jelenti, hogy noha a jel determinisztikus algoritmussal generálható és ismételhető, mégis sok tulajdonsága a zajjelekre emlékeztet. Az MLS jel bináris mérőjel, vagyis olyan jel, melynek értéke két állapot között váltakozik. A jel generálására alkalmas eszköz blokksémáját a 9. ábra mutatja.



9. ábra

A 9. ábra egy $N = 8$ - bites léptető (shift) regisztert mutat, melynek bitjeit minden mintavételi ciklusban – vagyis Δt időközönként – eggyel jobbra léptetjük. A shift regiszter néhány bitje (példánkban a 4., 5., 6. és 8. bitek egy bináris (moduló 2 aritmetikával dolgozó) összegzőbe van vezetve, melynek kimenete lesz a következő ciklusban a shift regiszter 1. bitje. A bináris mérőjel mintáit a shift regiszter utolsó, nyolcadik bitje adja. A rendszert adott kezdeti állapotba helyezve majd magára hagyva, automatikusan generálja a mérőjel mintáit. Az MLS generátor konstrukciójából nyilvánvaló, hogy a shift regiszter aktuális állapota egyértelműen meghatározza a következő állapotot. Ebből következik, hogy ha a shift regiszter az M -edik időlépésben visszatér a kezdeti állapotba, akkor az M -edik ütemtől kezdve a kimenő jelsorozat ismétlődik, és egy M - periodikus kimeneti jelet kapunk. A lehető legnagyobb M érték, ami előtt a shift regiszter csupa különböző állapoton megy át $M = 2^N - 1$, ahol a 2^N tag az N biten ábrázolható összes különböző szám száma, amiből ki kell vonnunk a csupa 0 bitet tartalmazó állapotot. Ez az állapot nyilván nem megengedett, mert ha előfordul, akkor a shift regiszter többé nem mozdul ki

belőle. A visszacsatolt bitek helyes megválasztásával elérhető, hogy a shift-regiszter valóban fel is veszi az M különböző állapotot, vagyis maximális periódusidejű kimenő jelsorozatot generál. Ezeket a kimenő jeleket hívjuk maximális hosszúságú sorozatoknak. A különböző bitszámú MLS-generátorok konfigurációja táblázatokban megtalálható, a gyakorlatban tipikusan $N = 10 - 20$ -bites MLS jeleket alkalmaznak. Az MLS jel fontos tulajdonsága, hogy cirkuláris autókorrelációja – vagyis önmagával vett keresztkorrelációja – nagyon jól közelíti a diszkrét Dirac-delta függvényt. Az MLS jellel gerjesztett rendszer válaszának és gerjesztésének cirkuláris keresztkorrelációja megadja a rendszer $w(t)$ impulzusválaszának w_k mintáit. Az MLS-mérés lényeges előnye az impulzusszerű jellel való méréssel szemben, hogy sokkal pontosabb, és jel-zaj viszonya is lényegesen jobb, hiszen megfelelően hosszú MLS-jel választásával tetszőlegesen sok energia vihető a rendszerbe.



10. ábra

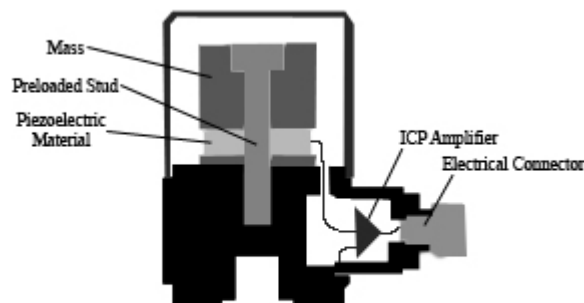
A 8. ábrán látható az MLS jellel történő mérés blokkábrája.

A mérés leírása:

A rezgésméréseket a Budapesti Műszaki Egyetem egyik laborjában végeztem, mivel nekik volt meg hozzá a felszerelésük. A mikrofonos méréseket a SZE Audiovizuális laborjában végeztem.

A mérés során használt rezgésérzékelők működési elve a piezoelektronikus hatáson alapszik. A rezgésérzékelőben lévő anyag, változó mechanikai behatások eredményeképpen változó feszültséget szolgáltat. Ez a feszültségváltozás szolgáltat információt a rezgés frekvenciájáról és amplitúdójáról.

A felhasznált anyagok általában kvarckristály, vagy kerámiák különböző fajtái.



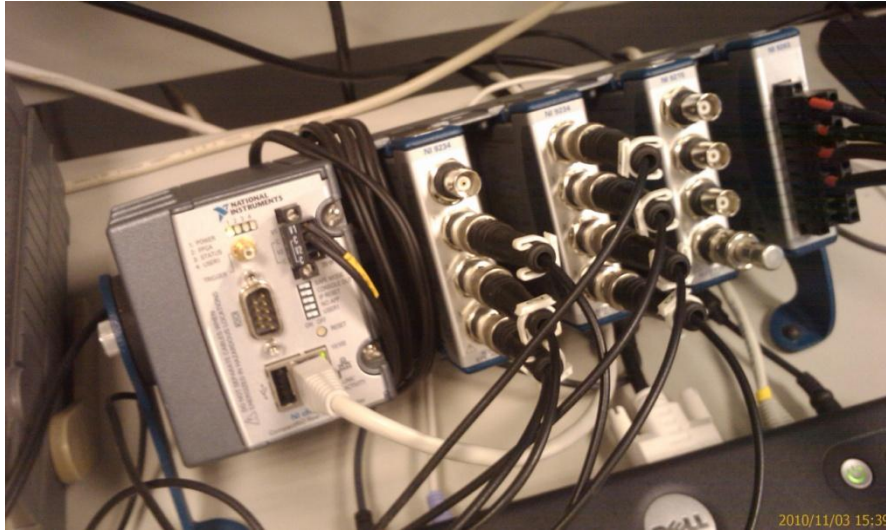
11. ábra

A 11. ábrán látható egy rezgésmérő keresztmetszeti képe. Fentről lefelé, balról jobbra haladva van egy súly egy feltöltött „pálcán”, ami alatt elhelyezkedik a piezoelektromos anyag. Az anyag által létrehozott feszültséget erősítve vezetjük ki az érzékelőből. Használt típus: PCB 353B13.

A mérés összeállítása:

A mérőrendszer központi eleme a National Instruments Compact RIO-9014-es valós idejű mérőeszköze (10. ábra). 400 MHz-es processzorral rendelkező eszköz, 128 MB-os DRAM rendszermemóriával és 2GB-os tárolókapacitással rendelkezik. 9-35 V-

os tápfeszültség szükséges a működéshez. 10/100 Mbit/s -os Ethernet csatlakozó segítségével interneten keresztül is illetve soros porton keresztül vezérelhető.

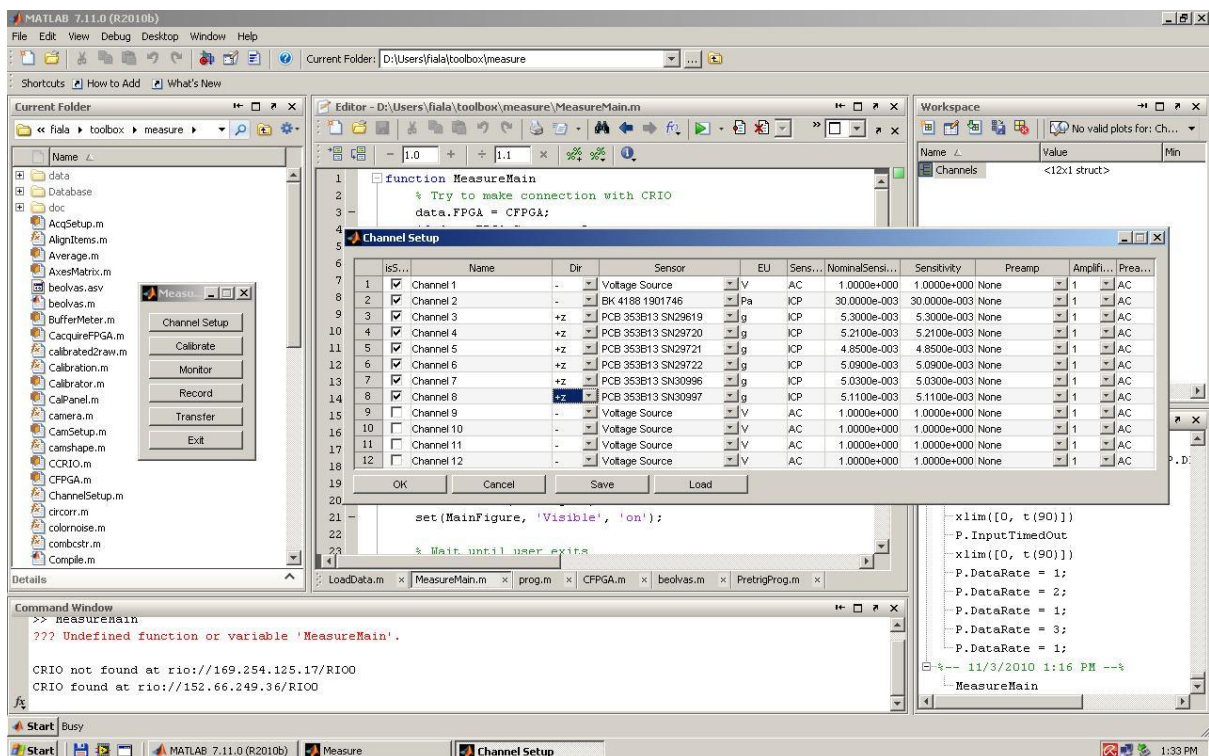


12. ábra

A mérés indítása a következőképp zajlik:

1. MATLAB elindítása, tápegység bekapcsolása a mérőmodul számára (a tápegység „A” csatornájának árama legyen maximumon, hogy a tápellátás megfelelő legyen!)
2. Mérőprogram elindítása (a mérések során a Budapesti Műszaki Egyetem munkatársai által fejlesztett mérőprogramot használtam)

Csatorna beállítások (Channel Setup):



13. ábra

A 11. ábrán a mérőprogram csatorna beállításához tartozó ablak, melyen láthatjuk az összes (12) csatornát, és beállíthatunk különböző típusú méréseket (feszültség mérés, rezgésmérés, stb.). A 13. ábrán látható, hogy aktuálisan az 1. csatornára van kötve a gerjesztés, amit mérünk is, a 2. csatornán mérjük a hangnyomást Pa-ban, egy körkarakterisztikájú kondenzátormikrofonnal. 3-8. csatornán pedig a rezgésmódusokat mérjük. A beállítás egy korábbi mérés beállításait mutatja, a végleges beállítás ettől eltérő, melyről a későbbiekben írok.

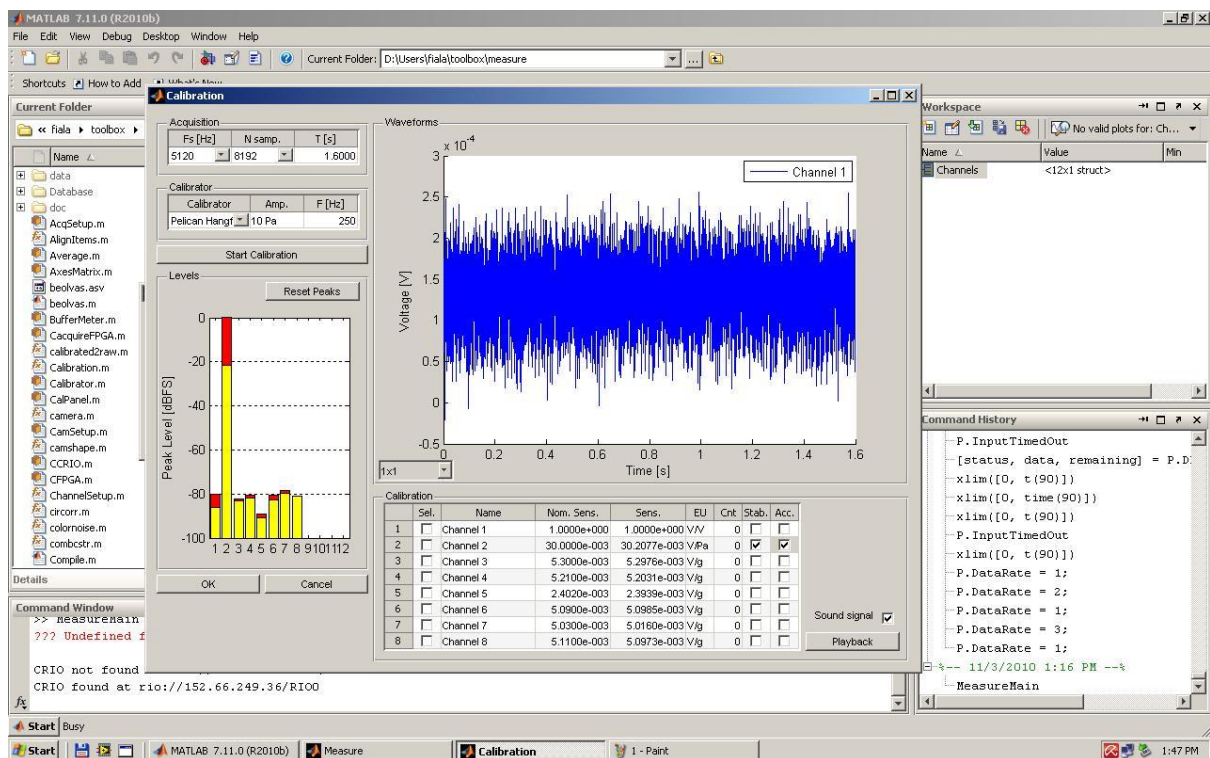
A méréshez az alábbi paramétereket kell megadni:

1. Rezgésérzékelő esetén „dir” oszlop értéke: +z (felfelé), egyébként semmi.
2. A sensor oszlopban kell megadni az érzékelő típusát (adatbázisból kell kiválasztani a neve alapján).

Kalibrálás (Calibrate):

A rezgésmérőkhöz rezgéskalibrátort használjuk. Kiválasztjuk az összes rezgésérzékelő csatornát, majd „start cal” gombra nyomunk. Az érzékelőt rárakjuk a kalibrátorra, majd megvárjuk, míg elkészül a kalibráció (ezt a program zenével jelzi is). Mindegyik érzékelőre el kell végezni a műveletet. Végül el kell fogadni a kalibrálás során kapott eredményeket.

Mikrofont hasonló módon pistonfonnal kell kalibrálni.

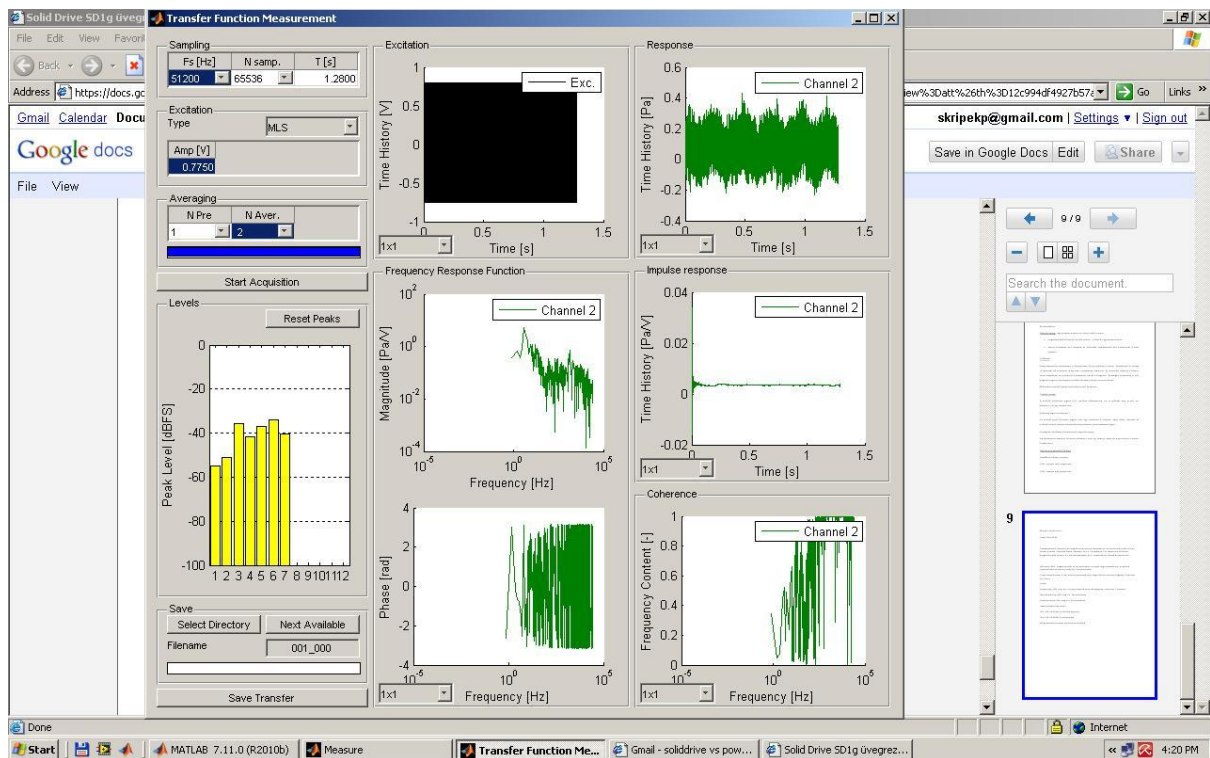


14. ábra

Mérés (Transfer mode):

A mérés elvégzése során érdemes az erősítő egyik kimenetét mérni, mert így az esetleges túlvezérlés azonnal detektálható.

A mérések során fehérzajt (illetve bizonyos esetekben MLS jelet) használtam.



15. ábra

A 15. ábrán néhány mérési eredmény látható, illetve remekül megfigyelhető a mérőprogram kezelőfelülete. Beállítások:

Sampling

Itt állíthatjuk be a mintavételi frekvenciát, és mért minták számát.

Excitation

Itt kiválaszthatjuk a mérőjelet, és annak paramétereit (pl.: jelszint).

Averaging

Átlagolás, a megszokott módon a mért minták számtani közepét számítja. 0-64-ig bármilyen értéket megadhatunk, illetve elő- és utóciklust is kérhetünk, mely mérési eredmény nem számít bele a végeredménybe.

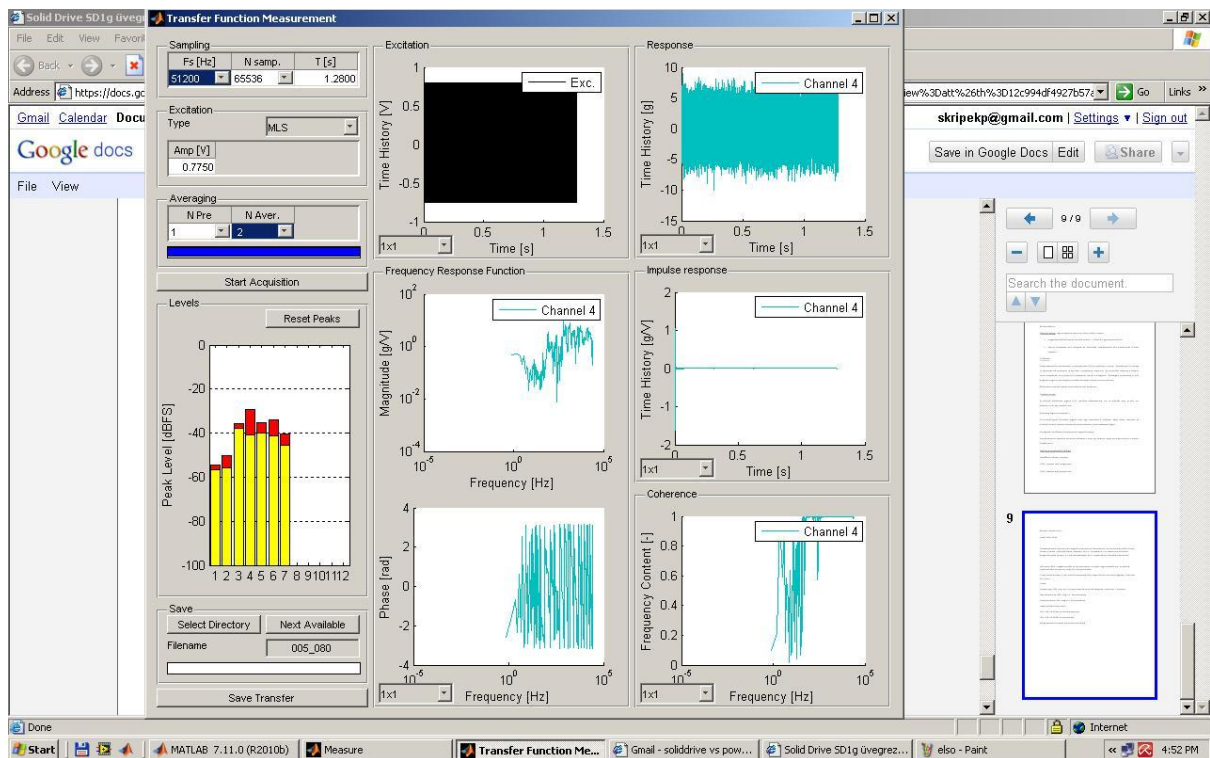
Start Acquisition gomb

Ezzel indítjuk a mérést, mely a beállítások függvényében néhány tized másodperctől több percig is eltarthat.

A mérési eredményeket természetesen menthetjük, mely eredményekkel, Matlab segítségével különböző grafikonokat készíthetünk. A program a pillanatnyi mérési eredményt mindig kirajzolja, de egyszerre csak egy csatorna értékeit nézhetjük meg.

A 15. ábrán látható mérési eredmény egy fém befogással rendelkező, kétrétegű üveglap által létrehozott hangnyomás mérési eredményei. Látható fentről lefelé, balról jobbra haladva a gerjesztés és a válasz időfüggvénye, amplitúdó a frekvencia függvényében, az impulzusválasz, a fázis a frekvenciafüggvényében és a koherencia függvény (mely megmondja a mérés melyik frekvenciatartományban ad valós adatot).

A beállítások alatt látható grafikon az egyes csatornákhöz tartozó kivezérlést mutatja.



16. ábra

A 16. ábrán egy másik csatorna adatait láthatjuk. Az előzőekben leírtak alapján.

A szimuláció

A szimuláció bemutatására egy rövid használati útmutatót készítettem (Lásd. 1.sz. melléklet). A szimulációs szoftver: Comsol Multiphysics 3.5.

A mérés és a szimuláció összehasonlítása

A szimuláció igazolására a következő mérési összeállítást használtam:

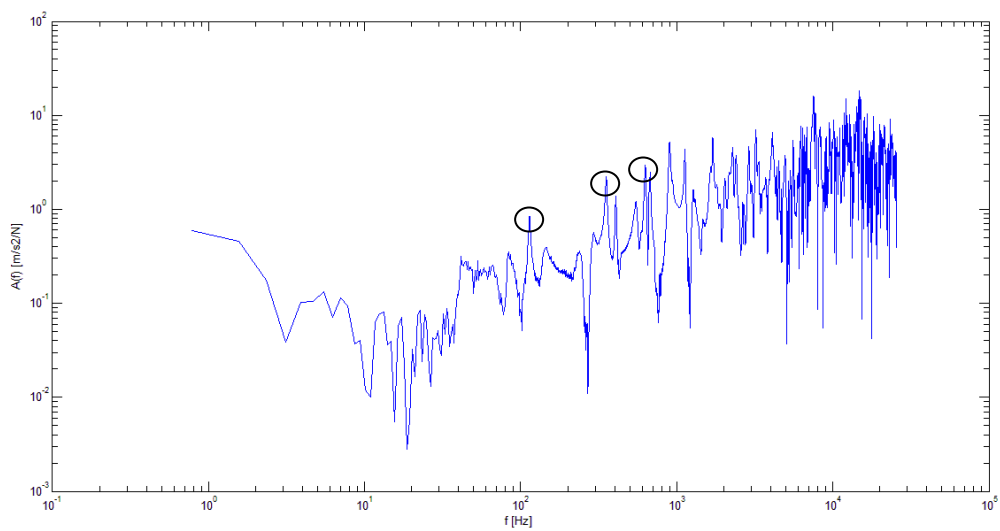
A mérőeszköz 6 csatlakozását használtam, melyek közül az 1-es számún a gerjesztés/vezérlést vezettem az erősítőre a 2-6-os számúakon pedig rezgésmérést alkalmaztam.

Két üveglapot vizsgáltam a mérés során, egy 50x50x0.6 cm-es egyrétegű és egy 96x31x0.8 cm-es kétrétegű üveglapot.

A mérés során fehérzajt használtam gerjesztő jelként, és több részletben mértem az üveglapon kialakult rezgésképet. A rezgésméréshez 5 rezgésmérőt használtam, ezzel kellett a megfelelő felbontást létrehoznom. Túl sok rezgésmérő használata esetén a rezgésmérők jelentősen befolyásolhatják az eredményt (pl.: befolyásolják a rezgő test tömegét).

Az egyrétegű üveglap esetén a teljes felületet 5x5cm-es szektorokra (az oldalakat 10-10 részre) osztottam, a kétrétegű esetén 6.2x4,8 cm-es szektorokat (rövidebb oldalt 5 részre, míg a hosszabbik oldalt 20 részre osztottam) alkalmaztam.

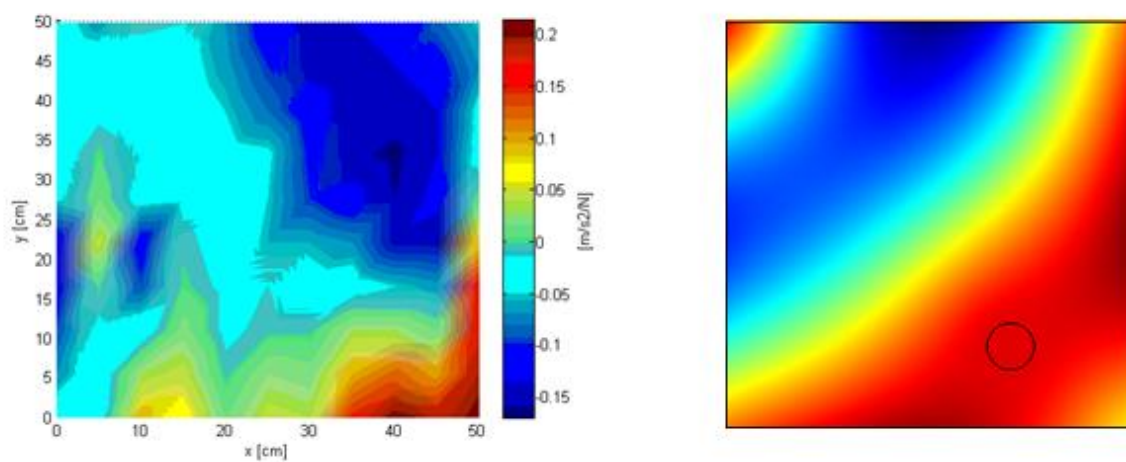
A mérések során látványos eredményt rezonanciafrekvenciákon kapunk, ezek az egyrétegű üveglap esetén például:



17. ábra

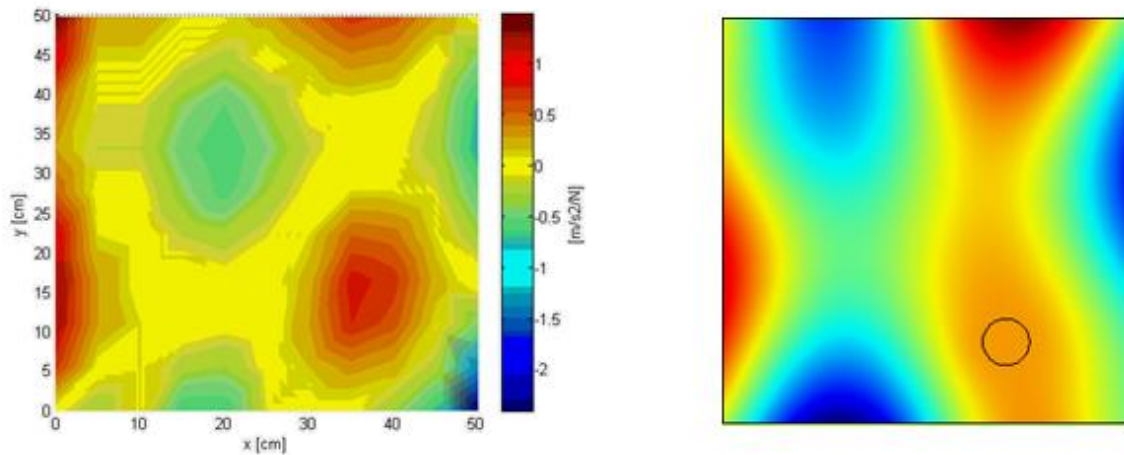
113Hz, 354Hz és 629Hz. Nézzük meg ezeken a helyeken a kialakult rezgéseképet.

113Hz esetén:



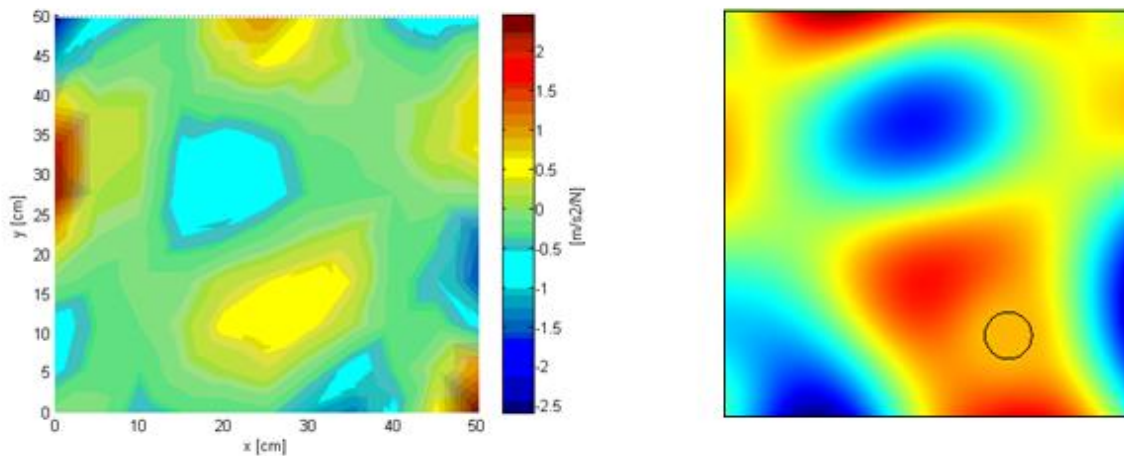
18. ábra

354Hz esetén:



19. ábra

629Hz esetén:



20. ábra

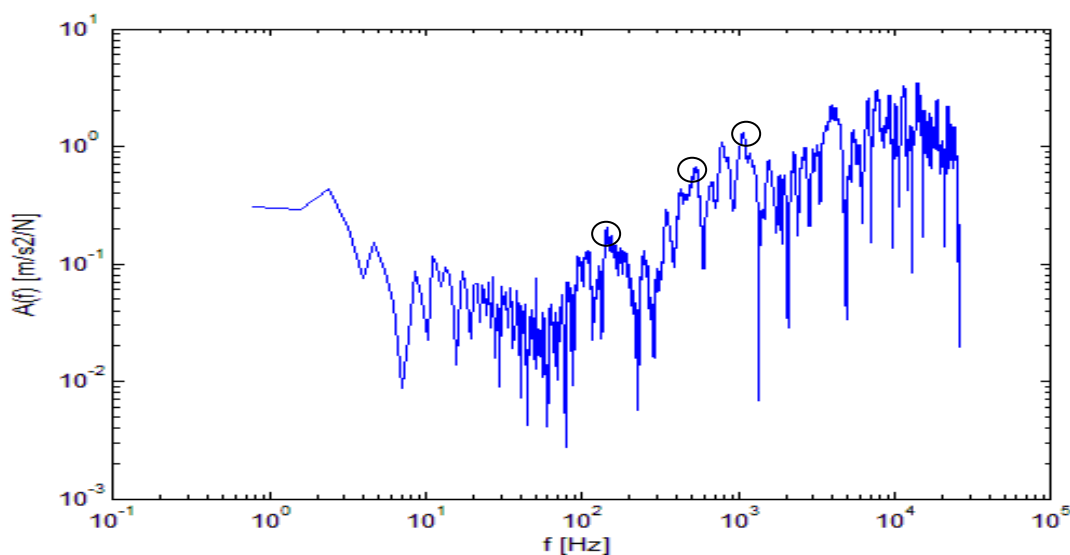
Az ábrák bal oldalán a mérési eredmények, míg az ábrák jobb oldalán a szimuláció eredményei láthatóak. Az elemzés során csak a kialakult rezgések jellegére vagyunk kíváncsiak, ez alapján eldönthetjük, hogy a szimuláció a megfelelő eredményt hozza-e.

A képek alapján elmondható, hogy a vizsgált, véletlenszerűen kiválasztott frekvenciákon a rezgések maximum- és minimumhelyei közel azonos számban és pozícióban helyezkednek el. Természetesen vannak eltérések, nem is vártunk pontos

egyezést. Ilyen eltérés például a 2. képen látható minimumhelyek függőleges eltolódása, illetve, hogy a bal felső sarokban található maximumhely a szimuláción még csak körvonalazódni látszik, de egyértelműen nem jelenik meg.

A szimuláció esetén azonban csak közelítjük a valóságot, ezért nem várunk tökéletesen azonos eredményt, csak közelítőleg hasonló képeket szeretnénk látni. Eltekintünk például a rendszer torzításától, továbbá a padlót is, melyen az üveglap feküdt, több ponton parafával megtámasztva a mérés során egyszerű betonnak tételezzük fel, mely szintén csak feltételezés. Ezeken felül eltekintünk még a rezgető üveghez rögzítésének módjától (kétoldalú ragasztószalag). Nem vesszük figyelembe az épület rezgését sem (gépek, forgalom okozta rezgések), és még sorolhatnánk.

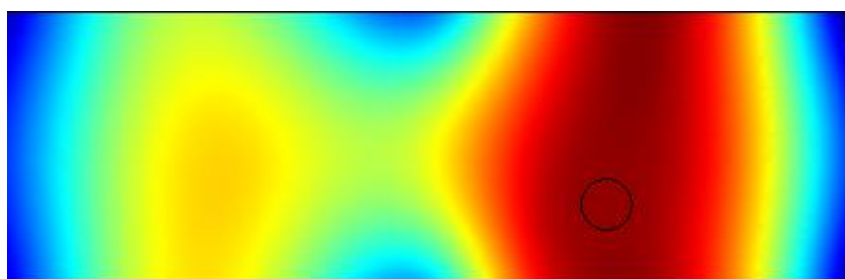
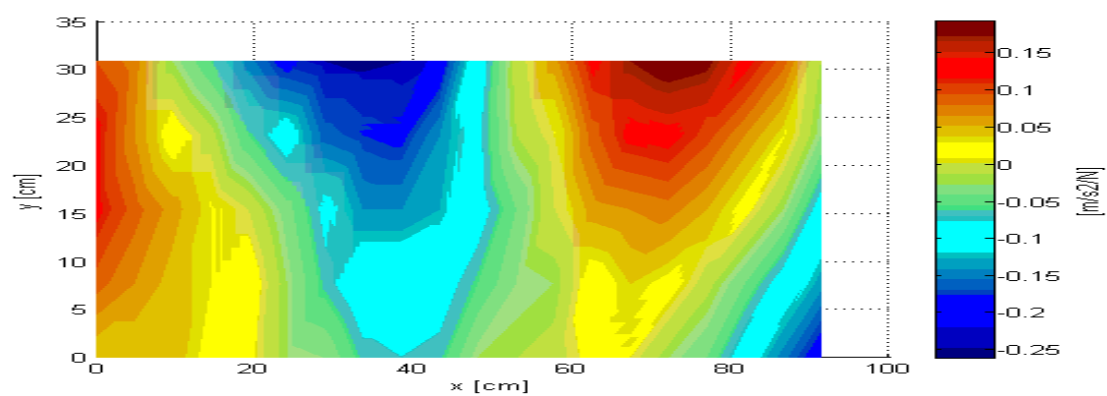
A véletlen egyezés cáfolása érdekében vizsgáljuk meg egy másik, eltérő méretű/tömegű üveglap mérési is szimulációs eredményeit!



21. ábra

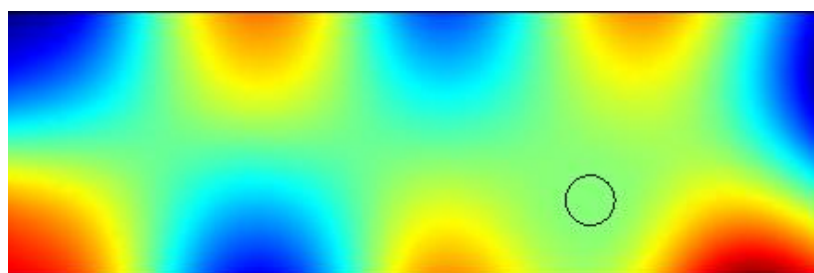
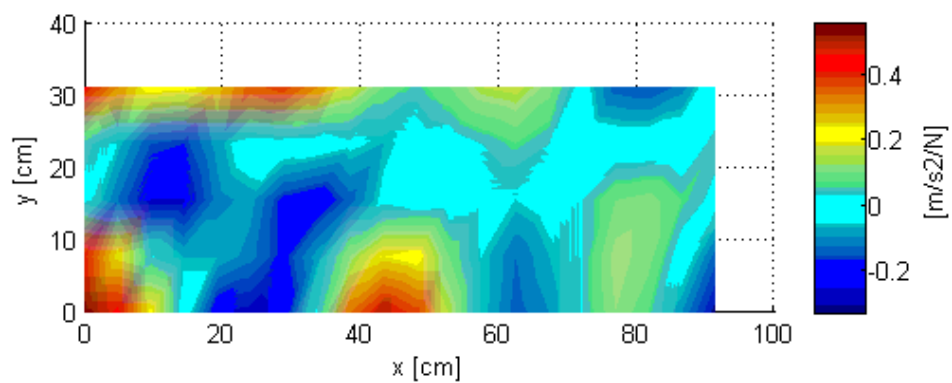
A véletlenszerűen kiválasztott frekvenciák, ahol a rezgéskép egyezését keresem, a következők: 142Hz, 540Hz, 1077Hz.

142Hz esetén:



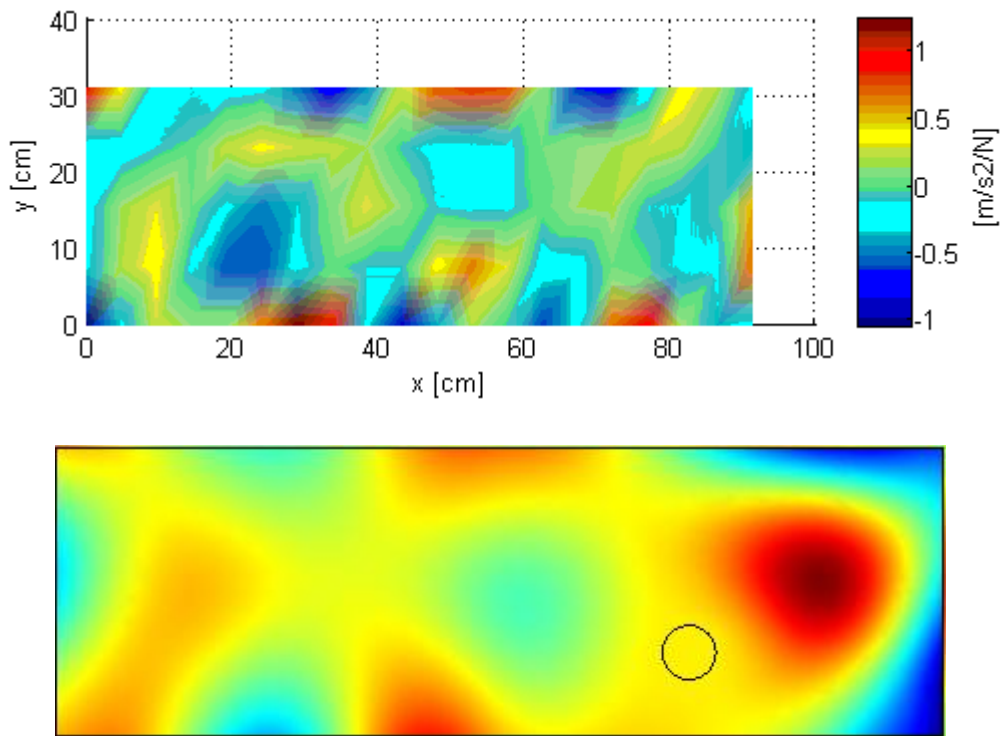
22. ábra

540 Hz esetén:



23. ábra

1077Hz esetén:



24. ábra

A képek alapján az eredmény a várttal megegyezik: kisebb- eltérések, de lényeges különbség nincs a szimuláció és a mérési eredmény között. Minimum- és maximumhelyek ismét közel azonos számban vannak jelen a mérési eredményen és a szimulációs képen. A minimum- és maximumhelyek pozíciója is közel azonos.

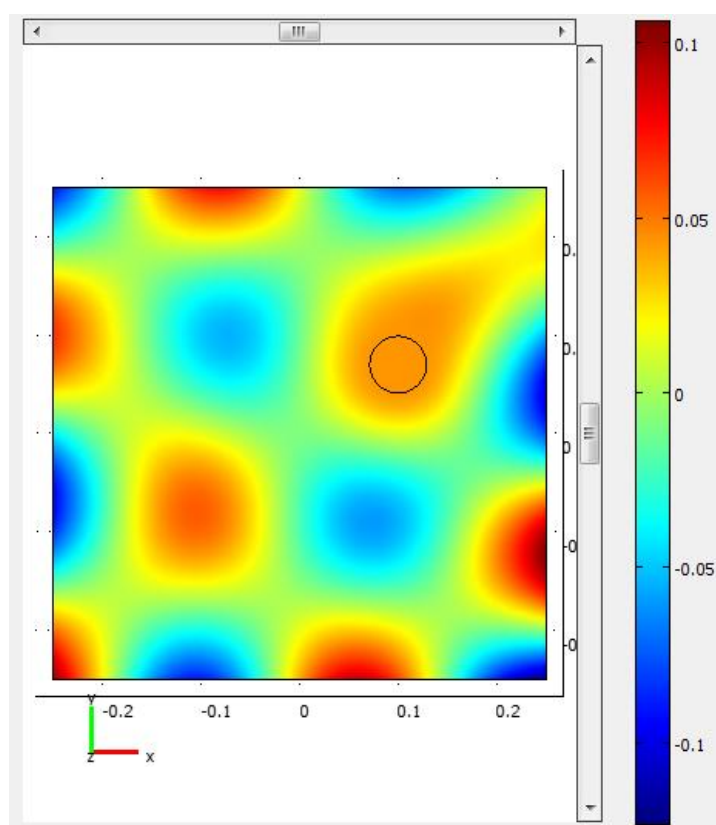
A két vizsgálat eredményeképpen elmondható, hogy a szimuláció valósághű eredményt produkál (természetesen ezt is vártuk egy ilyen komoly szoftvertől). A továbbiakban tehát mérés helyett szimulációval vizsgálom az egyes jellemzők (alapanyag, méretek, forma), és a rezgető pozíciójának hatását a rezgés képre, és ami sokkal beszédesebb adat: az iránykarakterisztikára.

Szimulációs eredmények

A méretek változásának hatása

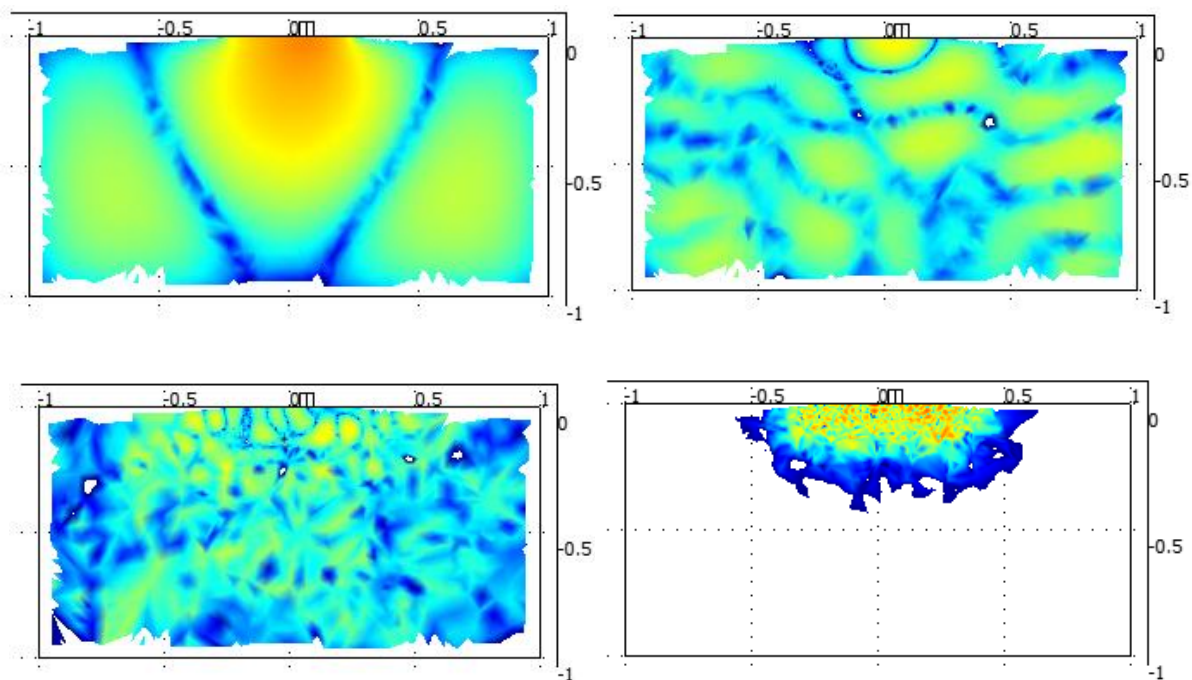
Szeretném bemutatni, hogy az egyes méretbeli változások miként befolyásolják a kialakult rezgésképet, bár ezt csak a teljesség kedvéért mutatom be, véleményem szerint sokkal érdekesebb és többet mondó adat az iránykarakterisztika és az átviteli függvény, ezért ez utóbbiak változását fogom elemezni.

Kiindulási alapként az 50x50x0,6 cm-es üveglapot választottam. Ebben az esetben a kialakult rezgéskép 1kHz-en (a későbbiekben az összes rezgéskép 1kHz-en, a skála dimenziója minden esetben m/s^2 -ben értendő) az ábrán látható.

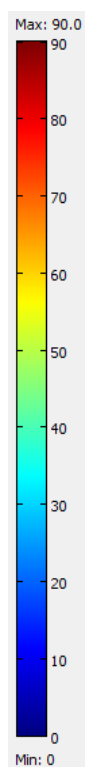


25. ábra

Az iránykarakterisztika pedig balról jobbra, fentről lefelé haladva: 300, 1000, 3000, 10000Hz-en az ábrán látható (a későbbiekben is ezeken a frekvenciákon végzek vizsgálatokat, az elrendezés változatlan marad, tehát a bal-felső a 300Hz-en, a jobb alsó a 10000Hz-en végzett szimuláció eredménye).



26. ábra



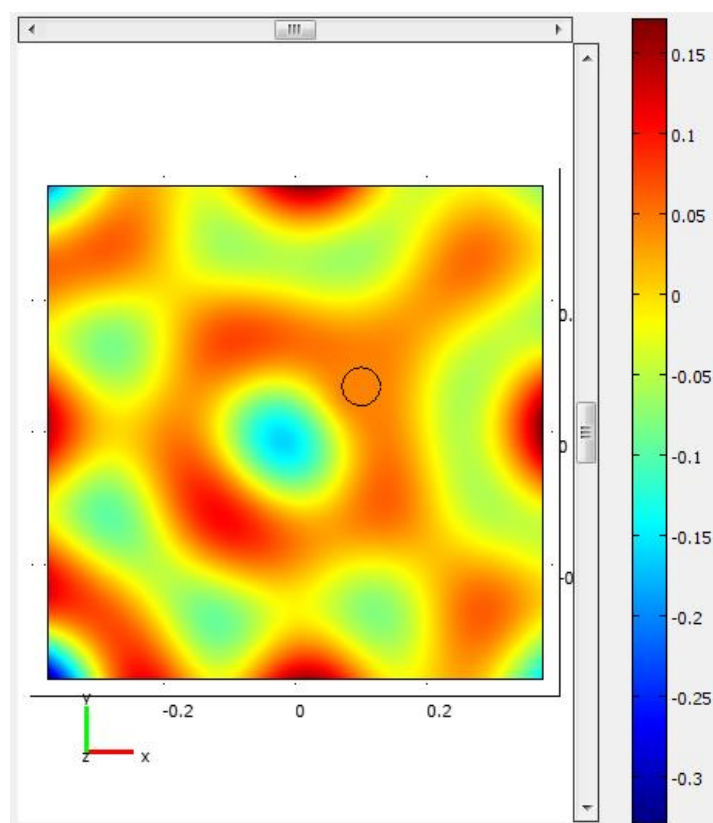
Sajnos az iránykarakterisztika vizsgálata hatalmas erőforrás igényű (sokváltozós differenciálegyenlet-rendszer, végeselem módszerrel megoldva). A vizsgálat során a számítógép számítási korlátai miatt egy 2x1m-es téglalapon belül végzek vizsgálatokat (az üveglap közepétől 1-1m jobbra és balra, valamint rá merőlegesen szintén 1m). Az egyes üveglapok iránykarakterisztikájának meghatározása a szükséges felbontás mellett így is több órát vett igénybe.

Az üveglap középpontja a koordináta-rendszer $[0;0;0]$ pontja. Az üveglap az X-Y síkra fekszik fel, tehát az iránykarakterisztikát Z-Y síkban vizsgálom.

A színek a bekezdés bal oldalán elhelyezett skálán konkrét értékekre válthatóak. Ez a skála az egyes üveglapok esetén nem változik. A skála alapján leolvasható, hogy a jelenleg vizsgált üveglap az első három frekvencián (300, 1000, 3000Hz) a térben egyenletesen, és közel azonos hangerősséggel sugároz. A létrehozott hangnyomásszint átlagosan körülbelül 50dB-

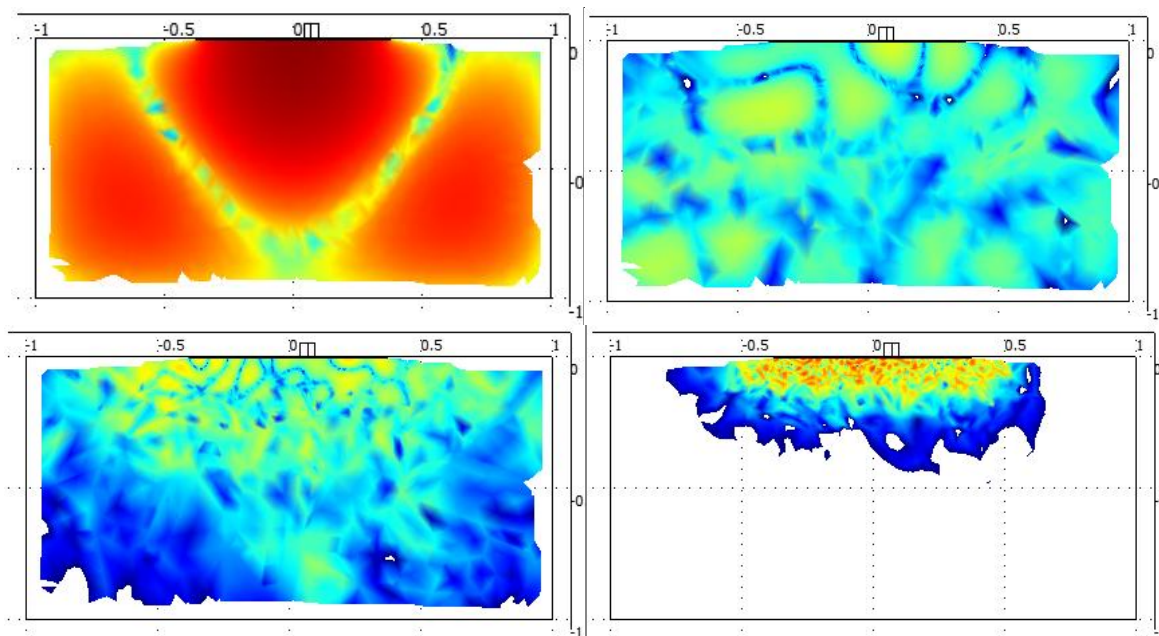
60dB között ingadozik (a képeken fehér színnel jelzett területeken a hangnyomásszint 0dB alatti). Az is elmondható, hogy az üveglap 10kHz-en már alig sugároz, ezek a hangok csak közvetlen az üveglap mellett érzékelhetőek, attól kb. 0,3m távolságra a hangnyomásszint 20dB alatti. Irányítottság nem látható, szinte a teljes térrészben egyenletes a hangnyomásszint.

Az üveglap szélességét és hosszúságát 75cm-re növelve (75x75x0,6cm) a következő rezgésképet kapjuk:



27. ábra

Az iránykarakterisztika pedig a következőképpen alakul:

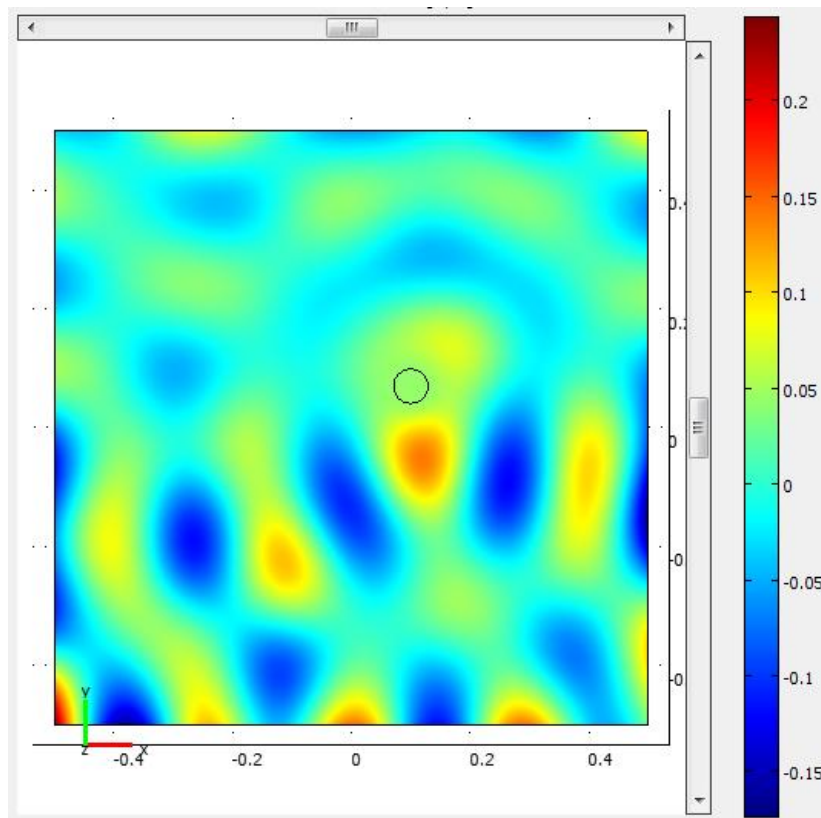


28. ábra

Azonnal szembetűnő, hogy jelentősen javult az alacsonyfrekvenciás átvitel, de a közepes és magas frekvenciákon is hangnyomásszint emelkedés észlelhető. Míg 300Hz-en körülbelül átlagosan 25dB-lel nőtt a hangnyomásszint, a közepes frekvenciákon a változás csekély mértékben negatív. 10kHz-en továbbra sem beszélhetünk átvitelről, hiszen az üveglaptól fél méterre már 0dB alatti a hangnyomásszint, bár a színes terület növekedése megtévesztő lehet. Mivel az üveglap méretei is nőttek (a képen jobbra-balra terebélyesedett az üveglap), természetes, hogy nagyobb térrészben is hoz létre érzékelhető hangnyomást az üveglap. Az üveglaptól fél méter távolságban továbbra sem hallhatóak ezek a frekvenciájú hangok.

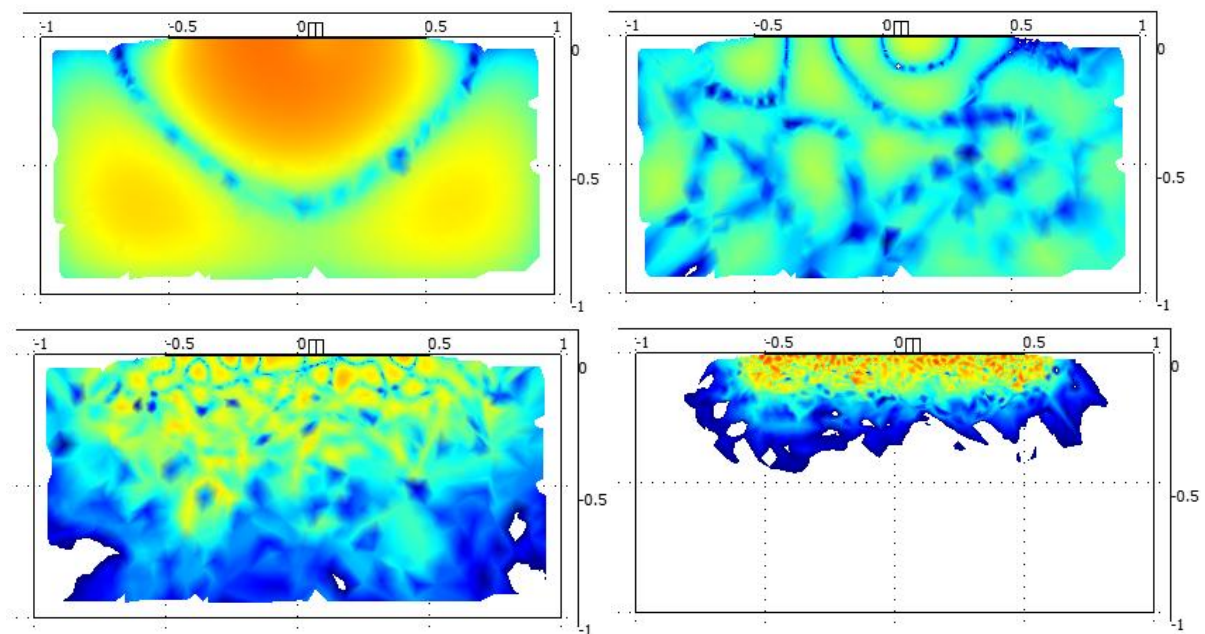
Örülhetnénk, hogy jelentősen javult a mélyfrekvenciás átvitel, míg a középfrekvenciás alig romlott, de ha egyenletes átviteli függvényt szeretnénk, azt ettől a konstrukciótól hiába várjuk, hiszen az alacsony és a közepes frekvenciák között 15-20dB hangnyomásszint különbség figyelhető meg.

Tovább növelve a méreteket (100x100x0,6) a következő rezgéképhez jutunk:



29. ábra

Az iránykarakterisztika ebben az esetben a következőképpen alakul:



30. ábra

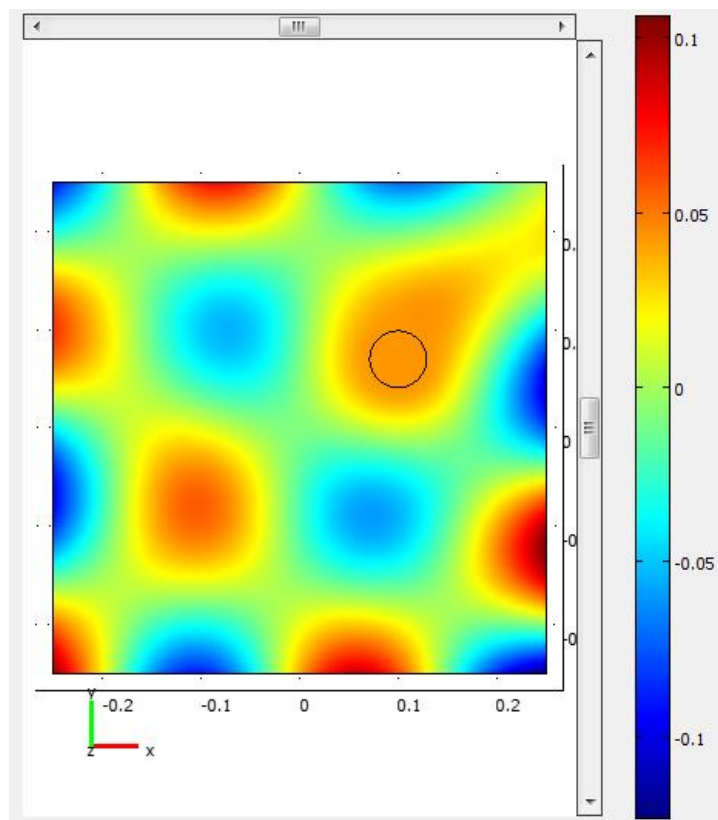
Az eddig vizsgált három változat közül talán ez a méret tűnik a legígéretesebbnek. A mélyfrekvenciás átvitel az előző két változat közötti, középfrekvencián is, kicsivel, de ez a méret a „hangosabb”, míg magas frekvenciákon továbbra sem érezhető jelentős változás.

Az átviteli függvény itt is mélyfrekvenciák felé van eltolódva, de nem olyan erőteljesen, mint az előző esetben.

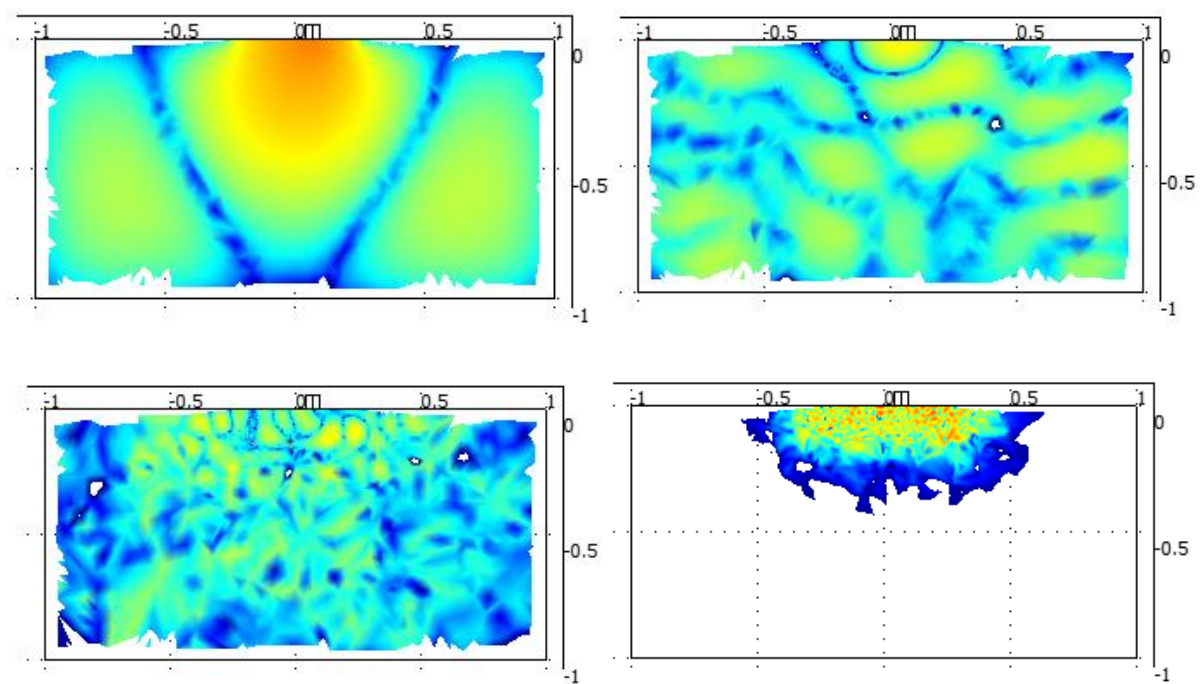
Érdekes, hogy nem a legnagyobb üveglap hozza létre a legnagyobb hangnyomásszintet alacsony frekvenciákon (pedig a mélyhangszórók mindig nagyok, nem véletlen, hiszen nagyhosszúságú hullámokat kell kelteniük). Az ok véleményem szerint az, hogy rezgető az üveglap méreteihez képest csak kis felületen érintkezik, és adja át a rezgést. A teljesítménye pedig kis mértékben már alacsony ekkora tömeg megfelelő mozgatásához.

Az üveglap-vastagság változásának hatása

A kiindulási alap ismét az 50x50x0,6 cm méretű üveglap. Emlékeztetőül ennek az üvegnek az rezgésképe és átvitele a következő:

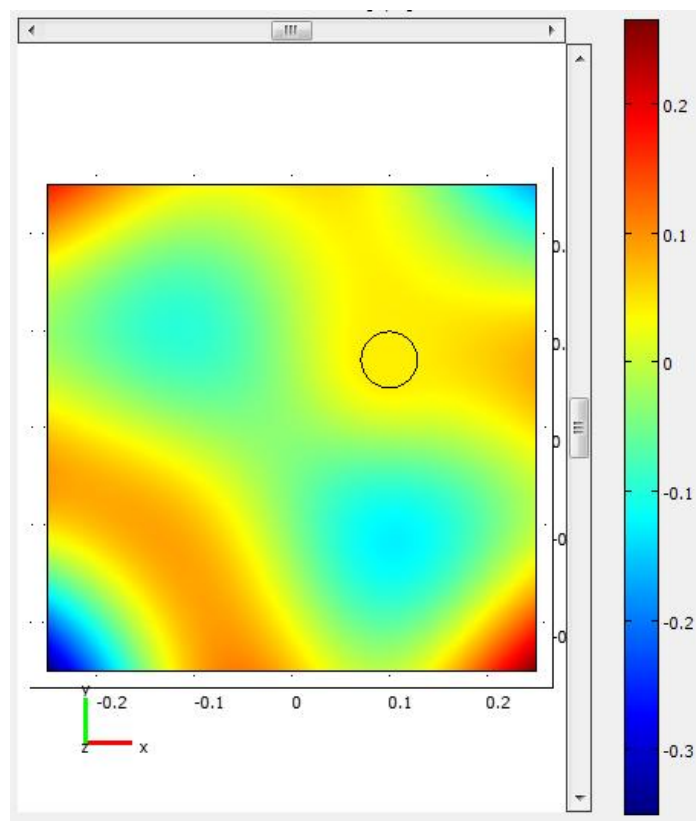


31. ábra



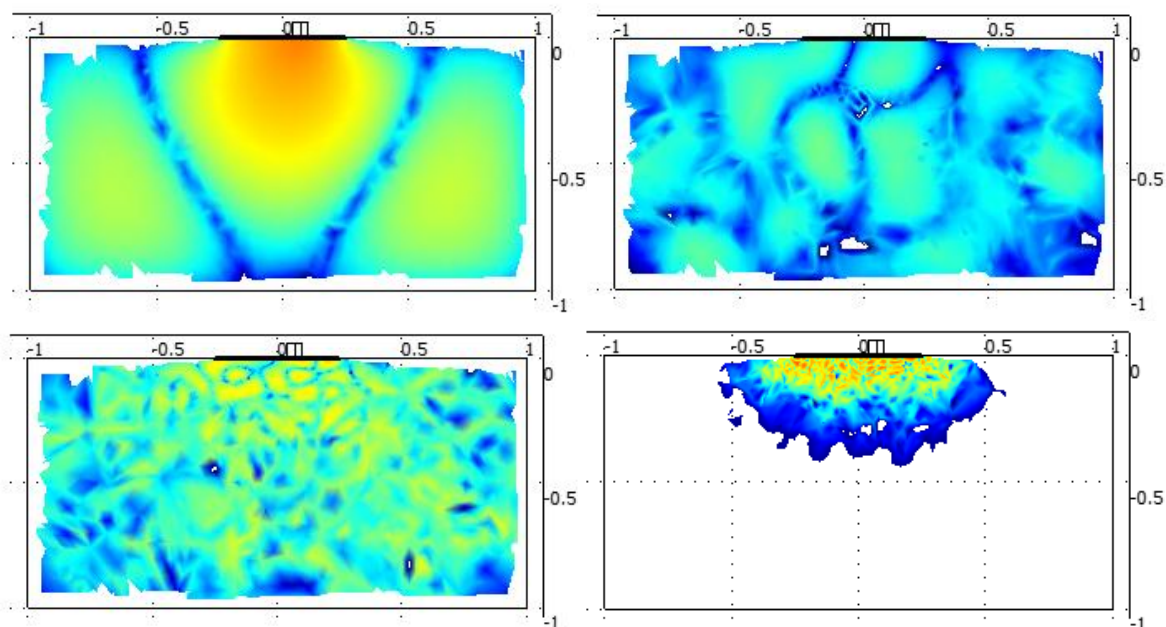
32. ábra

Milyen hatással bír, ha az üveglap vastagságát a 2-3-4-szeresére növeljük? Kétszeres vastagság esetén (50x50x1,2 cm) a rezgéskép a következő:



33. ábra

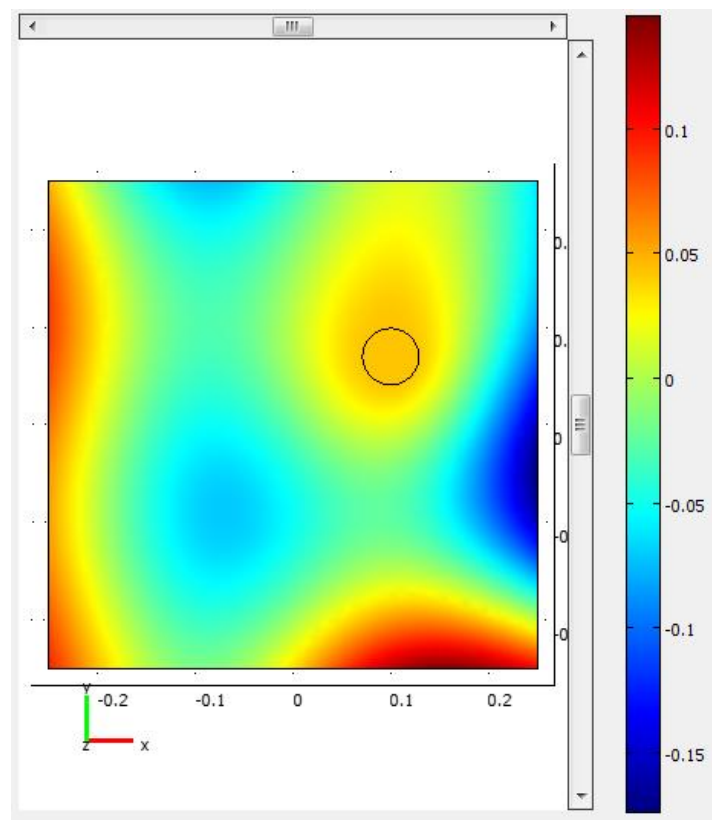
Az iránykarakterisztika pedig a következőképpen alakul:



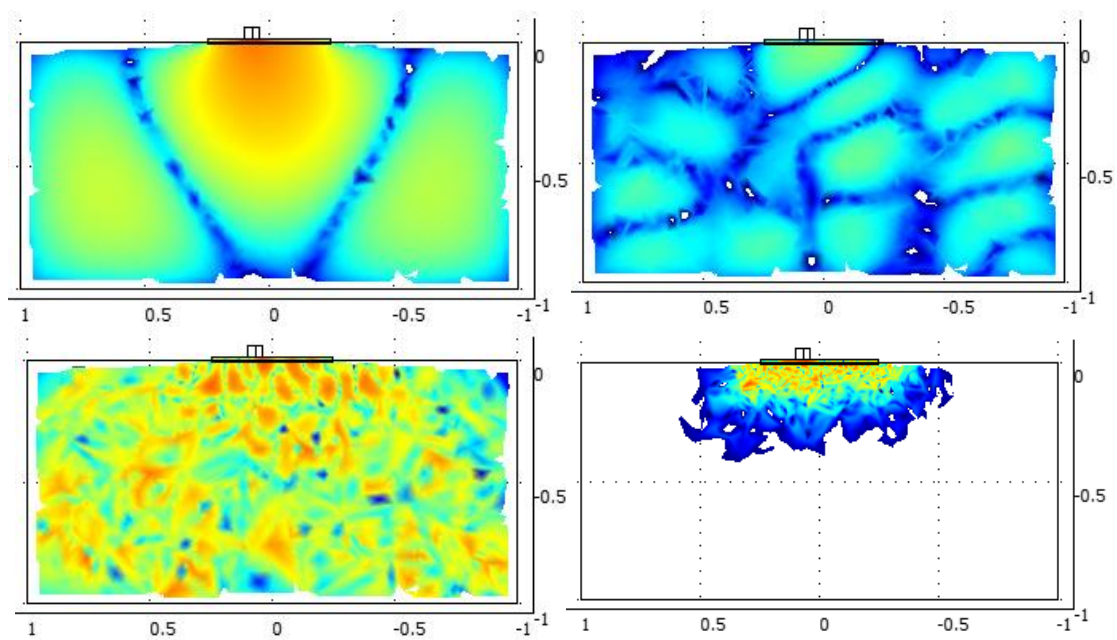
34. ábra

A vastagság növelése nem hozott pozitív változást. A mélyfrekvenciás átvitelben alig látható változás, míg a közepes és magas frekvenciákon kisebb hangnyomásszint csökkenés figyelhető meg.

A vastagságot tovább növelve (50x50x1,8 cm) a rezgéskép és az iránykarakterisztika a következőképpen alakul:



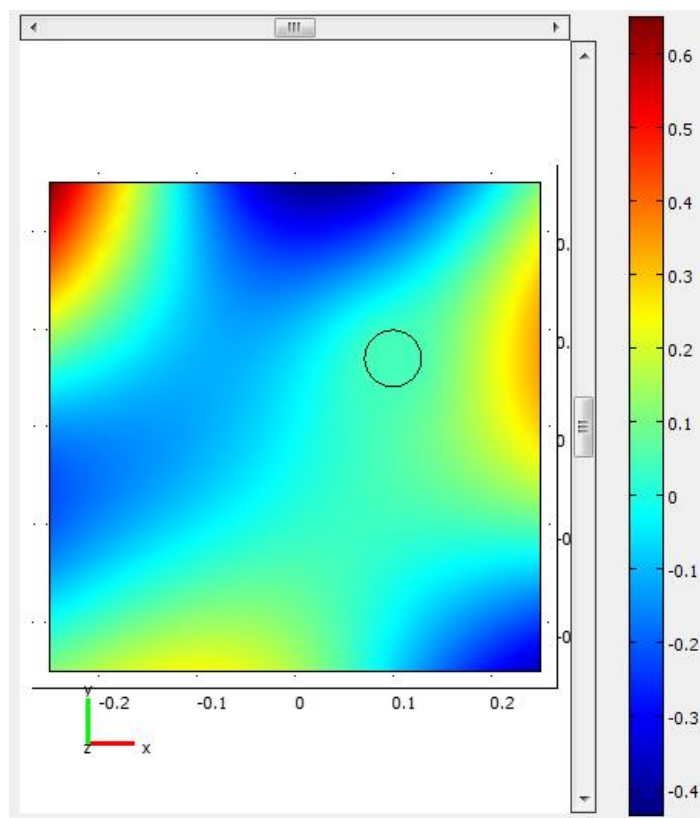
35. ábra



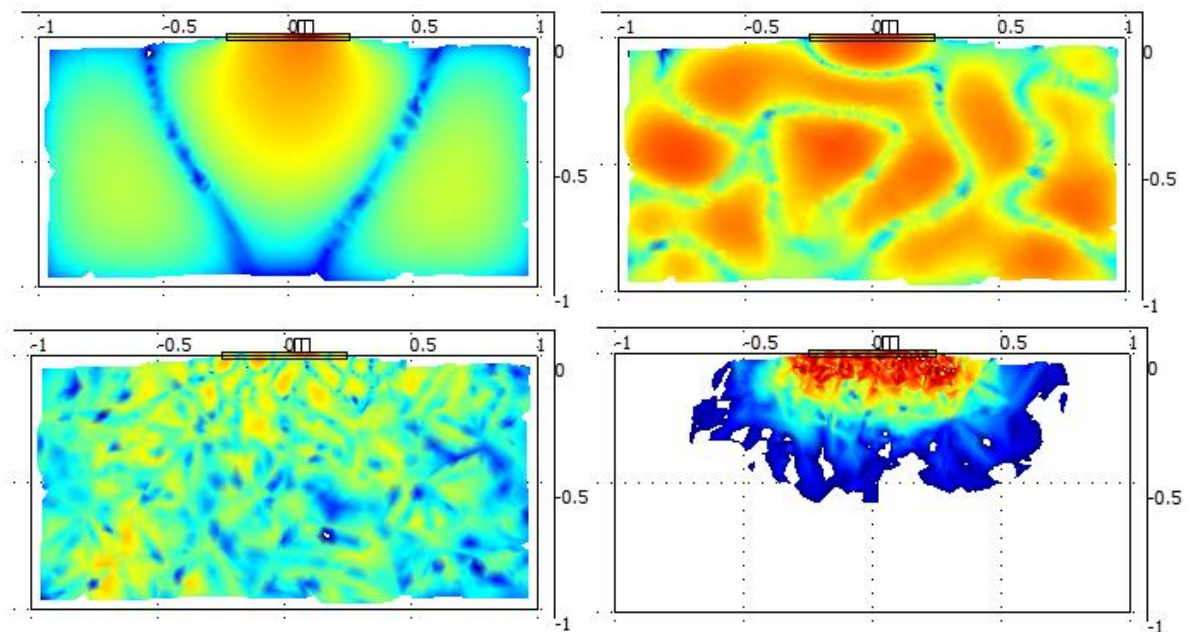
36. ábra

300, 1000, 10000Hz-en nem látható jelentős változás, azonban 3kHz-en hangnyomásszint növekedés figyelhető meg. Ennek a növekedés mértéke körülbelül 10dB átlagosan.

A vastagságot még tovább növelve (50x50x2,4 cm):



37. ábra



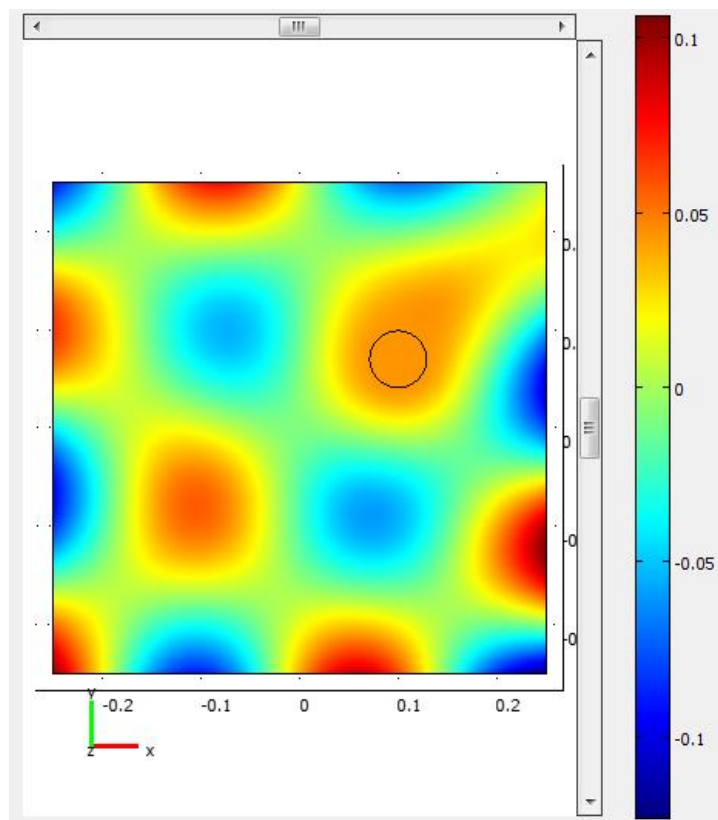
38. ábra

Egyértelműen látszik, hogy míg alacsony frekvencián továbbra sem tapasztalható jelentős változás, 1kHz-en erős hangnyomásszint emelkedés tapasztalható. 3kHz-en az előző mérethez képest csökkent a hangnyomásszint, a kiinduló mérethez képest nőtt. 10kHz-en továbbra sem beszélhetünk átvitelről, de némi javulás itt is látható.

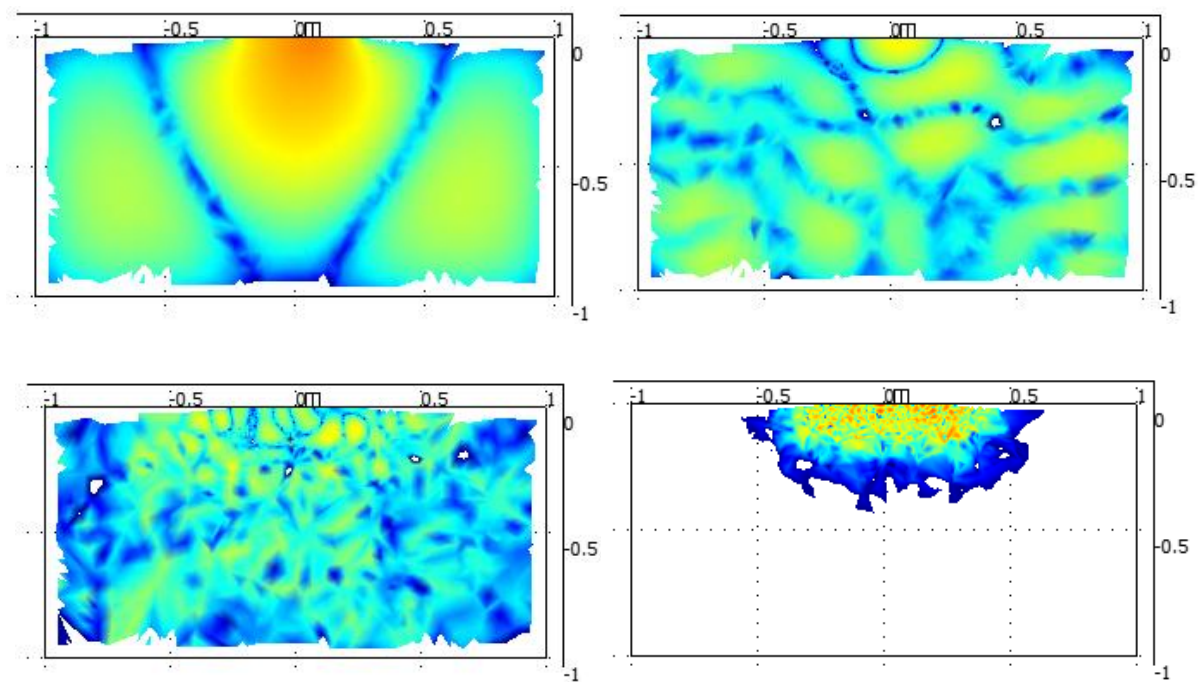
Szeretném felhívni az olvasó figyelmét arra az érdekességre, hogy a rezgésképen a négy különböző vastagságú üveglap közül a legvastagabb produkálta a legnagyobb és a legkisebb gyorsulásértékeket.

A forma hatása

Kiindulási alapként álljon itt újra az 50x50x0,6 cm-es üveglap:



39. ábra



40. ábra

Hasonlítsuk össze ezt a formát a következőkkel:

25x50x0,6

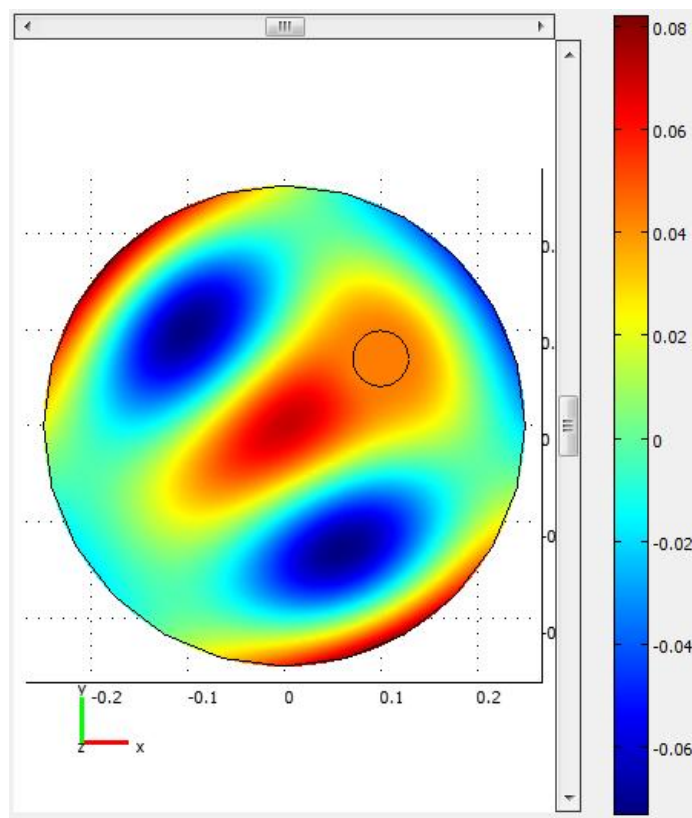
25x75x0,6

Kör alakú üveglap 0,25m és 0,5m-es sugárral

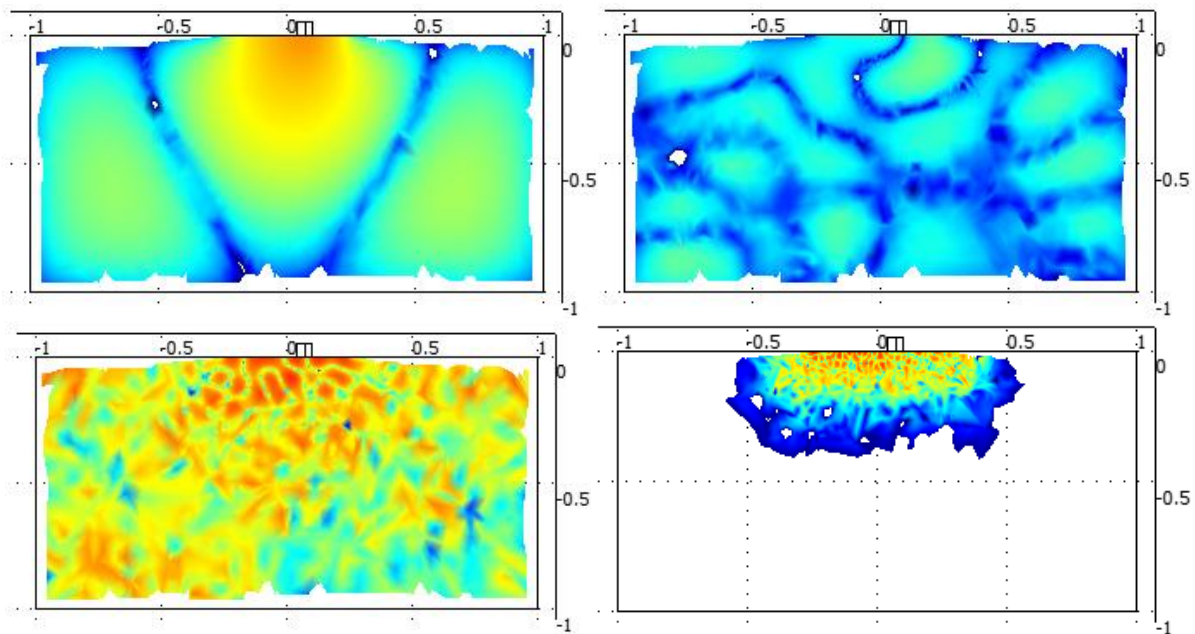
Ellipszis (nagytenyely/kistenyely = 2/1)

Vizsgáljuk először a kör alakú üveglapok iránykarakterisztikáját és rezgéképét:

$r = 25 \text{ cm}$; h (vastagság) = 0,6cm



41. ábra

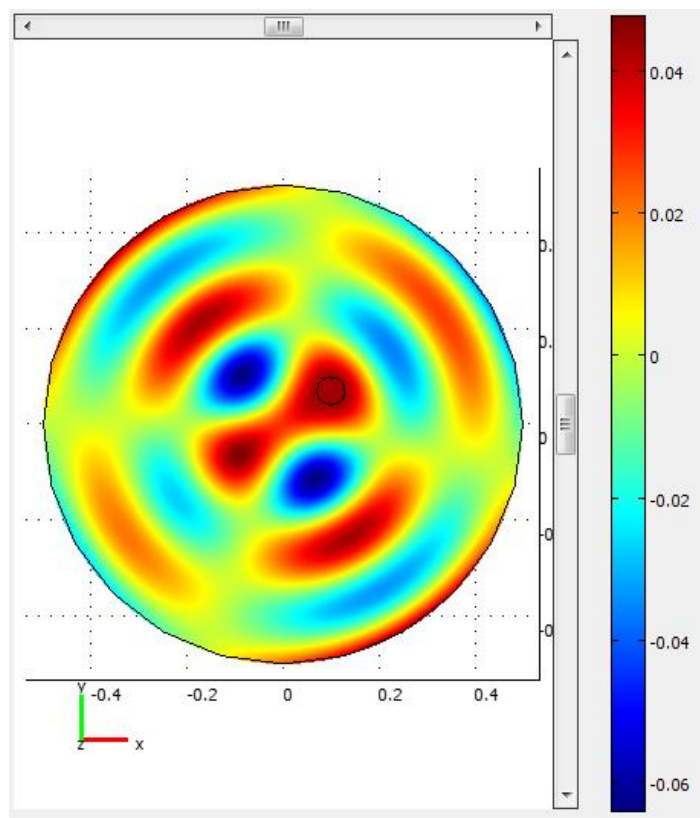


42. ábra

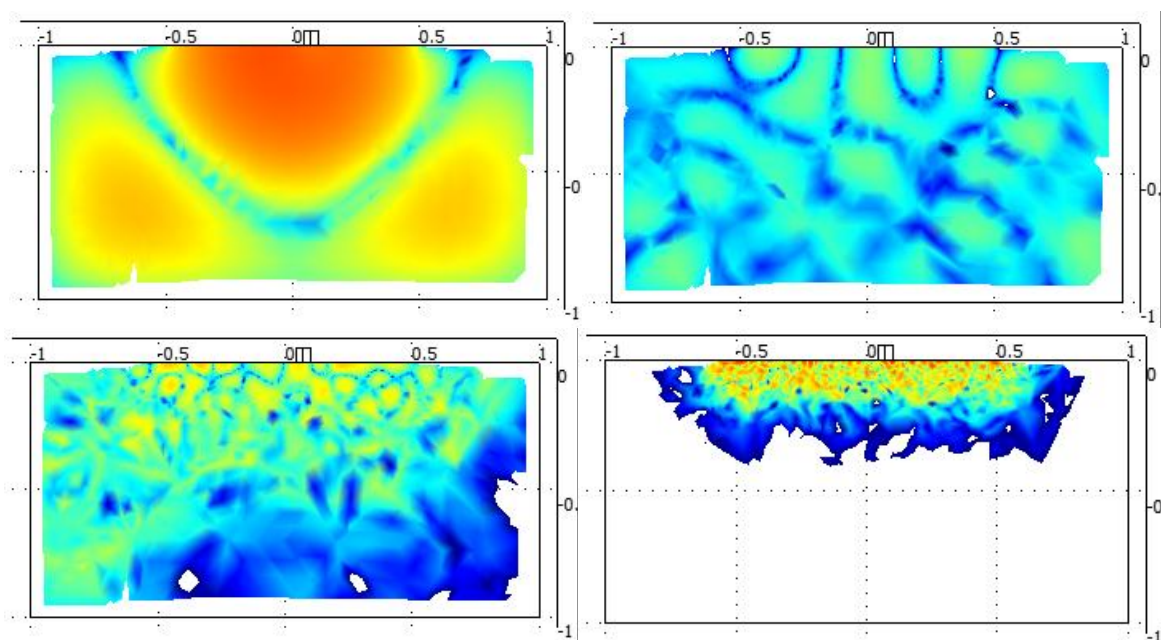
A négyzet alakú üveglaphoz képest a mély- és magas frekvenciás átvitelben jelentős változás nem látható, azonban 1kHz-en kisebb (kb. átlagosan 5-6dB) hangnyomásszint csökkenés észlelhető. 3kHz-en viszont az előző csökkenésnél nagyobb mértékű növekedés figyelhető meg, ennek mértéke átlagosan kb. 8-10dB. 3 kHz-en mintha enyhe irányítottság is látható lenne: a kép bal alsó sarkában a hangnyomásszint kicsivel magasabb, mint a kép jobb alsó sarkában.

Nagyobb átmérő esetén a következőképpen alakulnak az ábrák:

$r = 50 \text{ cm}$; $h = 0,6 \text{ cm}$



43. ábra



44. ábra

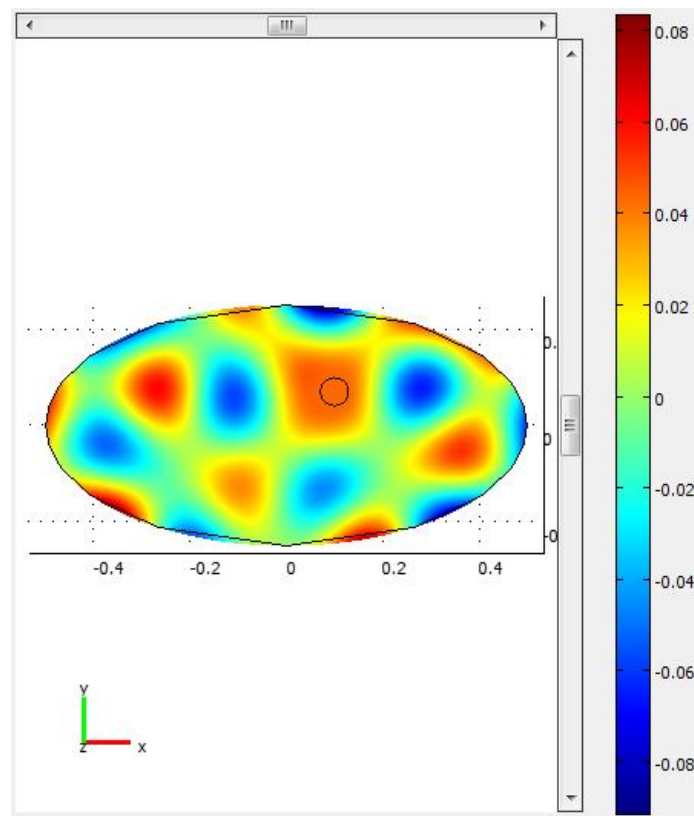
Az átmérő növelése a mélyfrekvenciás átvitel javulásához vezetett. 3 kHz-en azonban valamivel alacsonyabb hangnyomásszint látható, mint a kisebb, kör alakú

üveglap esetén. Az irányítottság itt is észlelhető (3kHz). 1 és 10 kHz-en nincs jelentős változás.

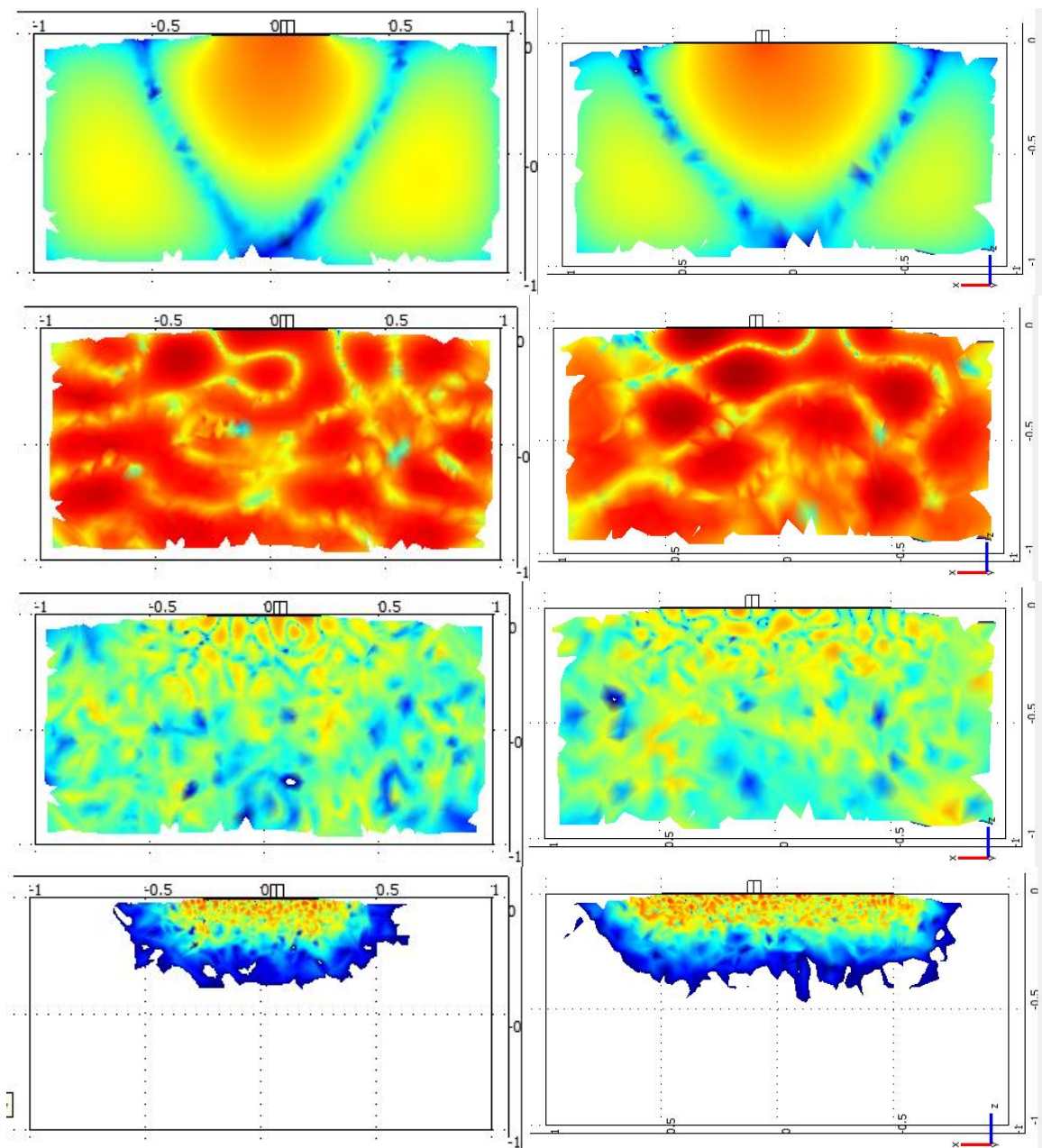
A további üveglapok esetén, azok geometriája miatt már nem elegendő 1 síkban vizsgálni az átvitelt. Minden frekvencián a továbbiakban két síkban vizsgálódunk. A képek elrendezése a következő:

300Hz Z-Y sík	300Hz Z-X sík
1000Hz Z-Y sík	1000Hz Z-X sík
3000Hz Z-Y sík	3000Hz Z-X sík
10000Hz Z-Y sík	10000Hz Z-X sík

Az ellipszis alakú üveglap esetén az ábrák alakulása az alábbi:



45. ábra

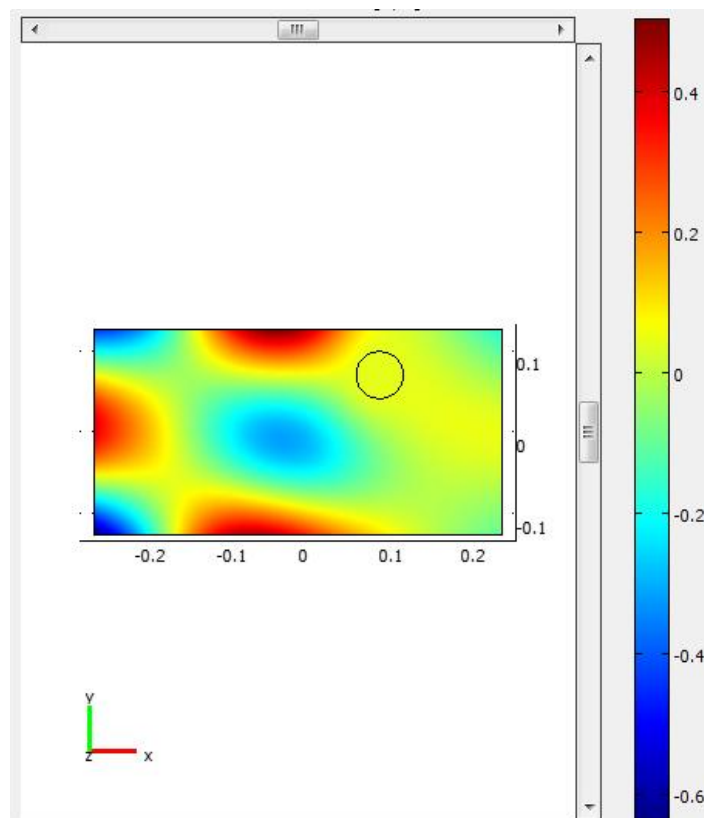


46. ábra

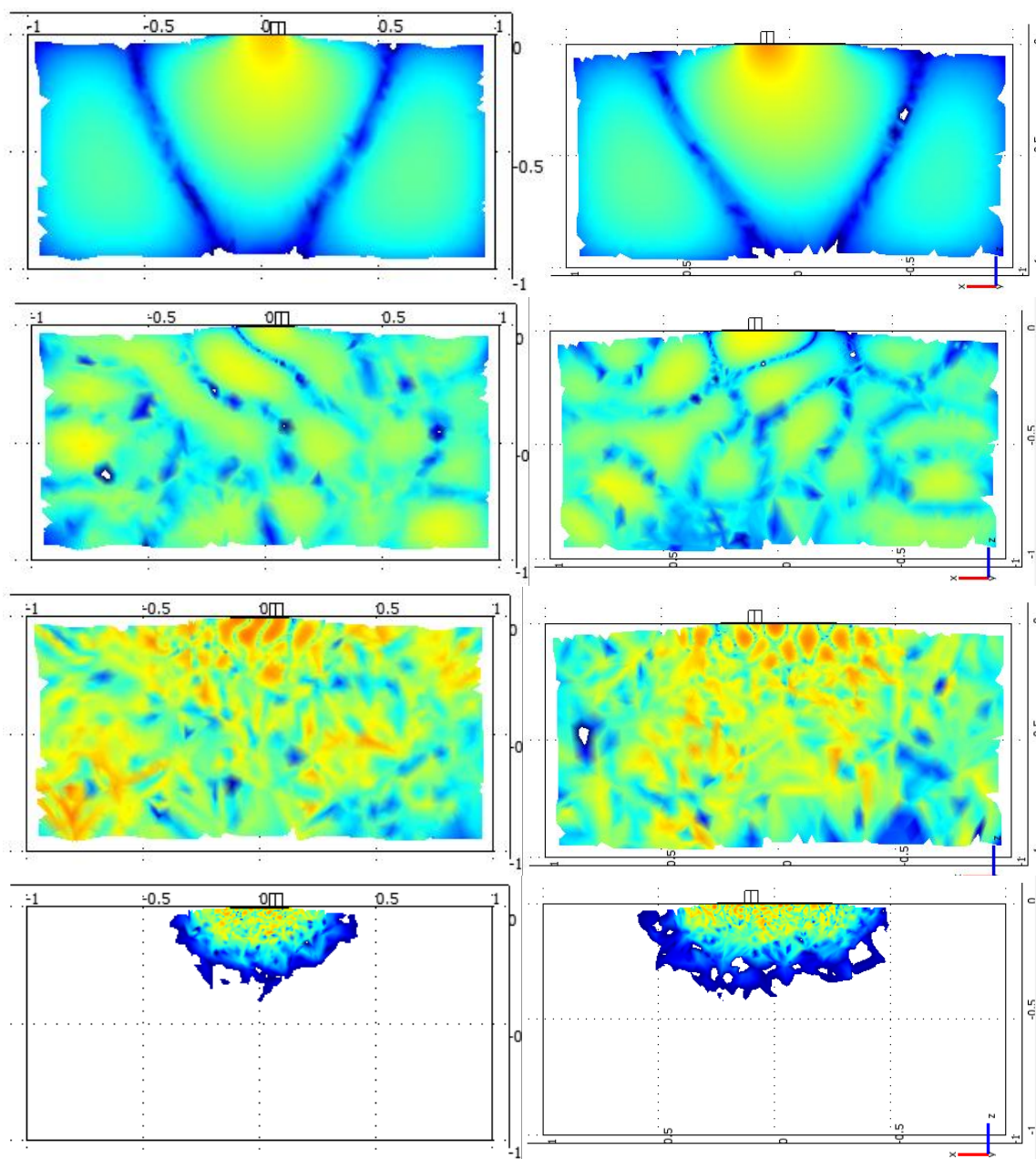
Hasonló a képek jellege, mint az 50x50x2,4 cm-es üveglap esetén, viszont a hangnyomásszint itt nagyobb, pl. 1kHz esetén átlagosan kb. 20dB-lel haladja meg az említett méretű üveglap által produkált értékeket. 300Hz-en és 3kHz-en is enyhe növekedés látható. 10kHz-en a helyzet változatlan, továbbra sincs átvitel.

Irányítottság nem figyelhető meg.

25x50x0,6 cm-es üveglap esetén az alábbiak szerint módosulnak az ábrák:



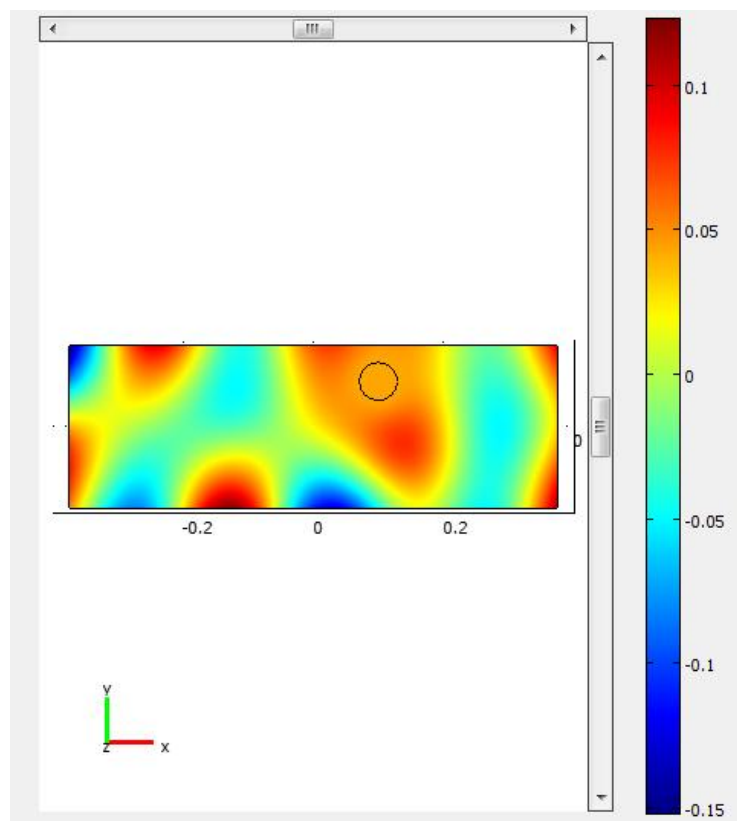
47. ábra



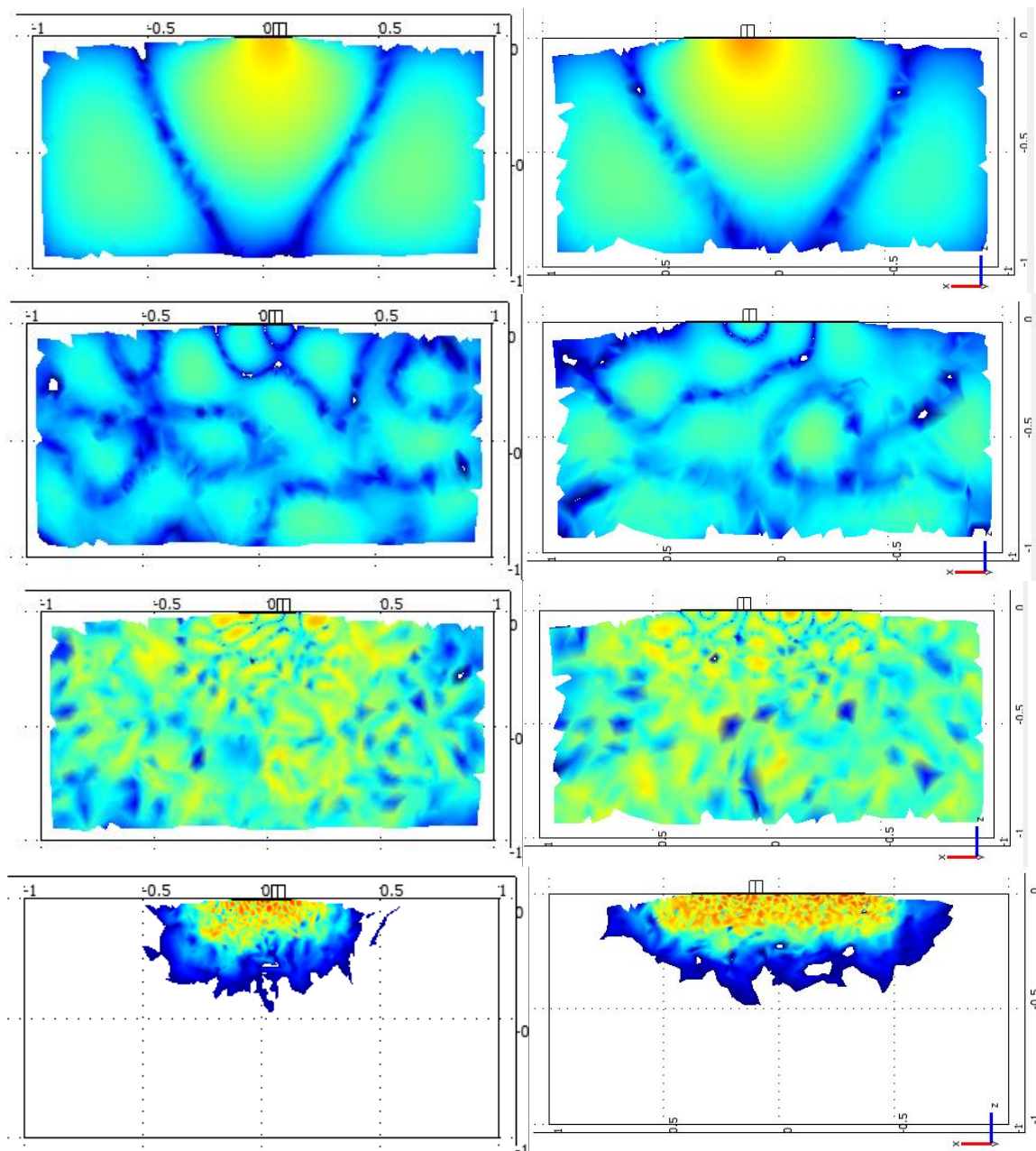
48. ábra

A 25x50x0,6 cm-es üveglap változása az 50x50x0,6 cm-eshez képest nem jelentős. A hangnyomásszintek közel azonosak, az előbbi egy kicsit gyengébben teljesít alacsony frekvencián, viszont ezt a gyengeségét 3 kHz-en igyekszik kompenzálni. Irányítottság továbbra sem megfigyelhető. Az átviteli függvényt egyenletesnek ítéltjük.

Nyújtottabb téglalap alakú üveg esetén (25x75x0,6 cm) a következő eredményre jutunk:



49. ábra



50. ábra

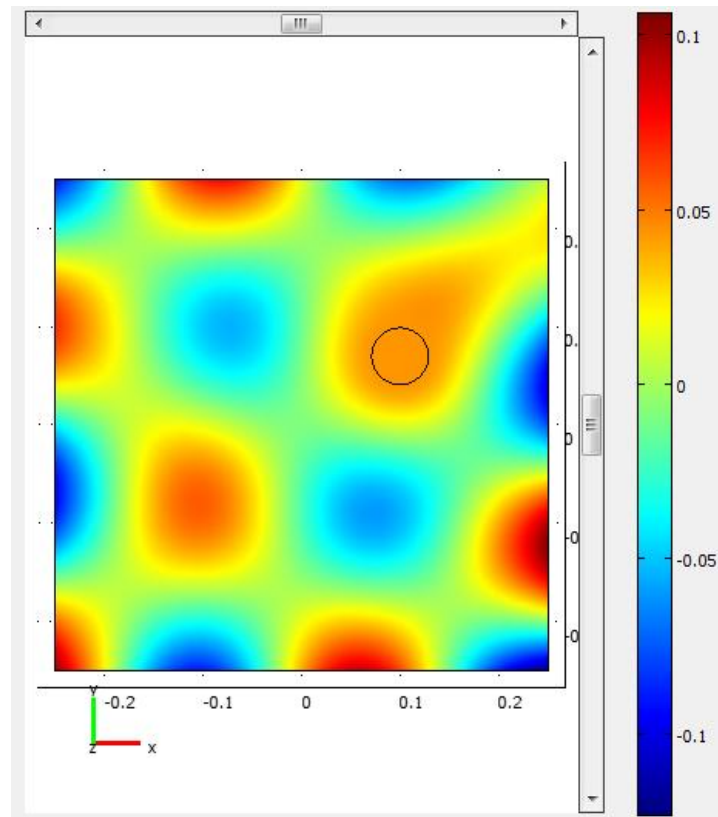
Az 50x50x0,6 cm-es üveglaphoz képest az átvitel közel azonos, 300 Hz-en, 1kHz-en kicsit gyengébben, 3kHz-en kicsit erősebben teljesít a 25x75x0,6 cm-es.

A 25x50x0,6 cm-es üveghez képest általánosan gyengébben teljesít ez a méret. Cserébe az átvitele talán a legegyenletesebb az eddig vizsgált üveglapok közül. Irányítottság továbbra sem tapasztalható.

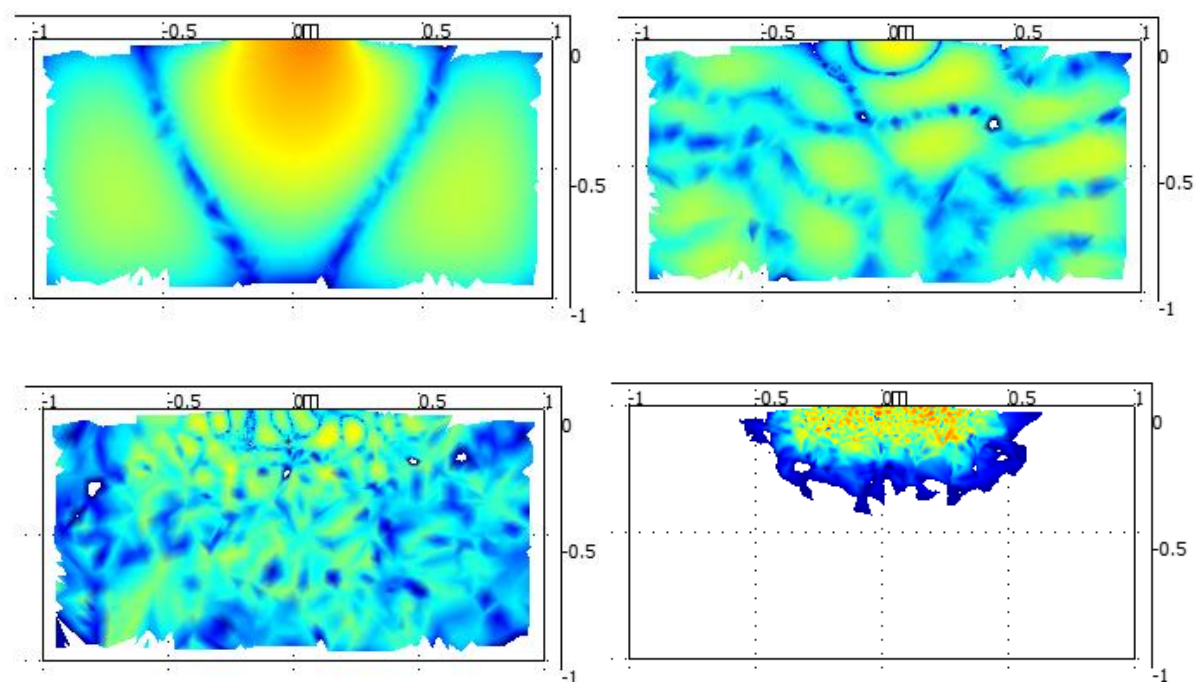
Alapanyagok közötti különbség

Vizsgáljuk meg, milyen hatással van az átvitelre, ha ugyanolyan geometriájú tárgyakat rezgetünk, azonban az alapanyaguk különböző! Kiindulási alapként az 50x50x0,6 cm-es üveglapot használom, és 3 féle anyagot vizsgállok meg az üvegen kívül: bükkfa, acél, márvány.

Elsőként emlékeztetőül az üveglap ábrái:

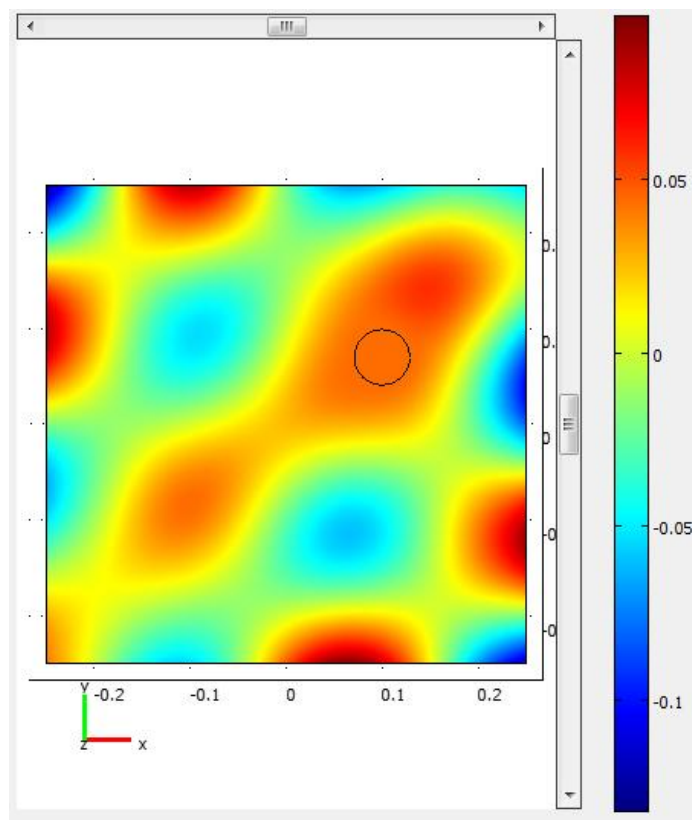


51. ábra

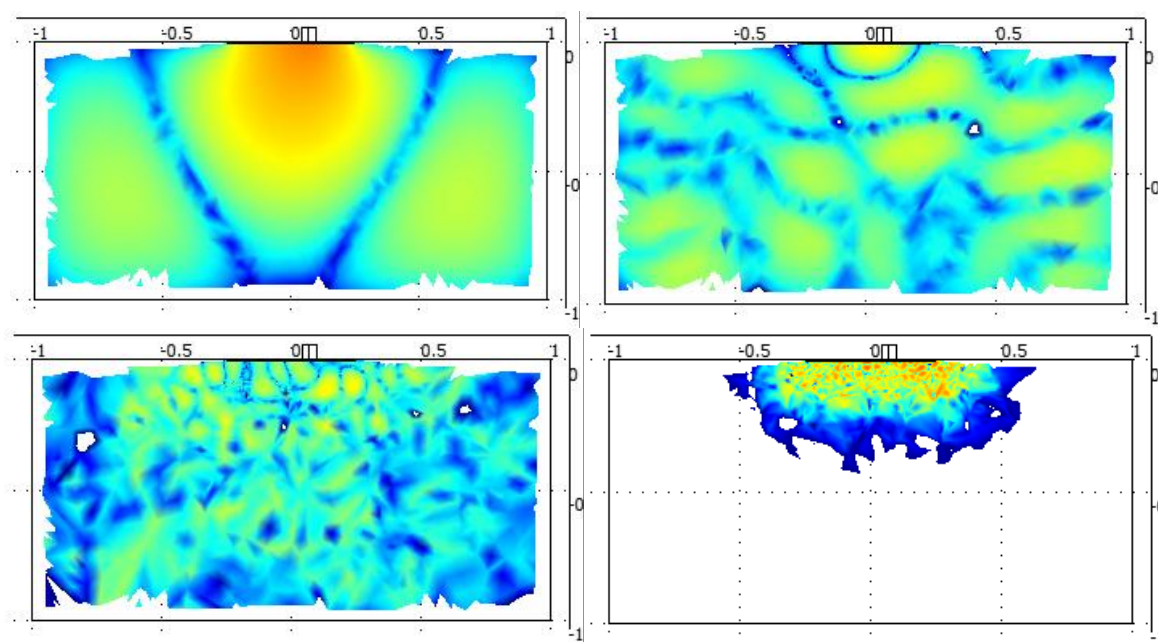


52. ábra

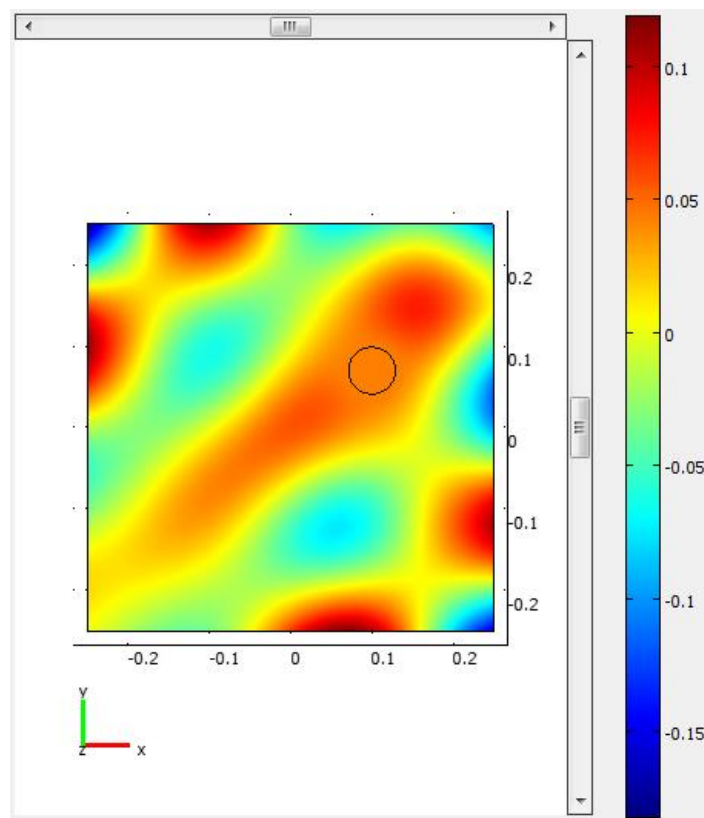
Hasonlítsuk össze az ugyanilyen méretű márványtömbbel, acéllal és fával:



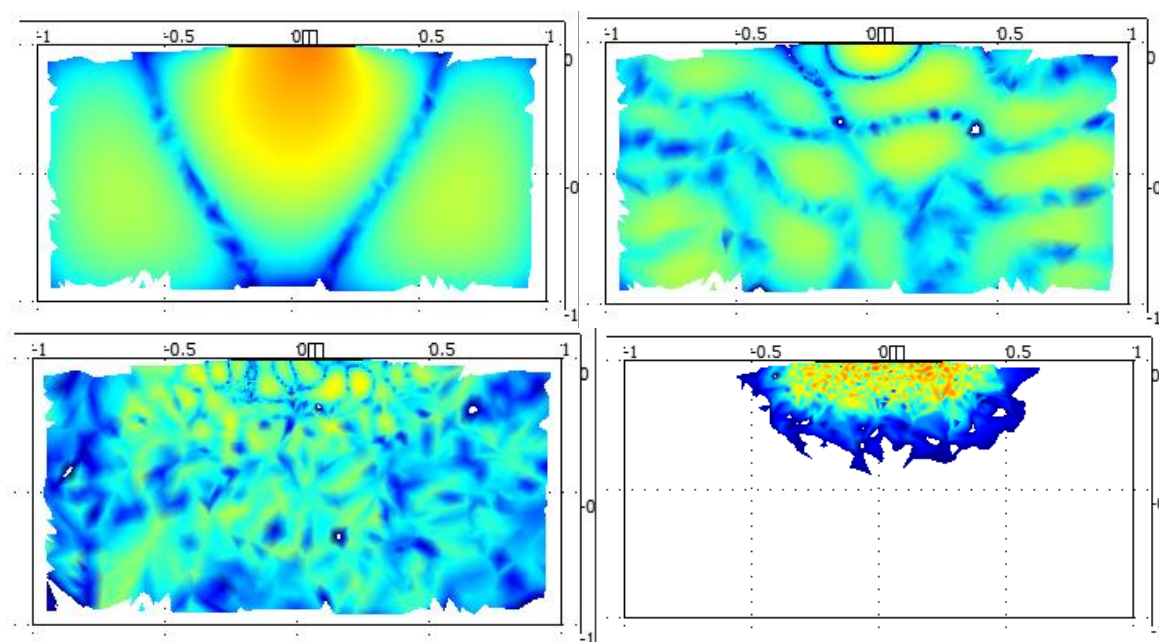
53. ábra



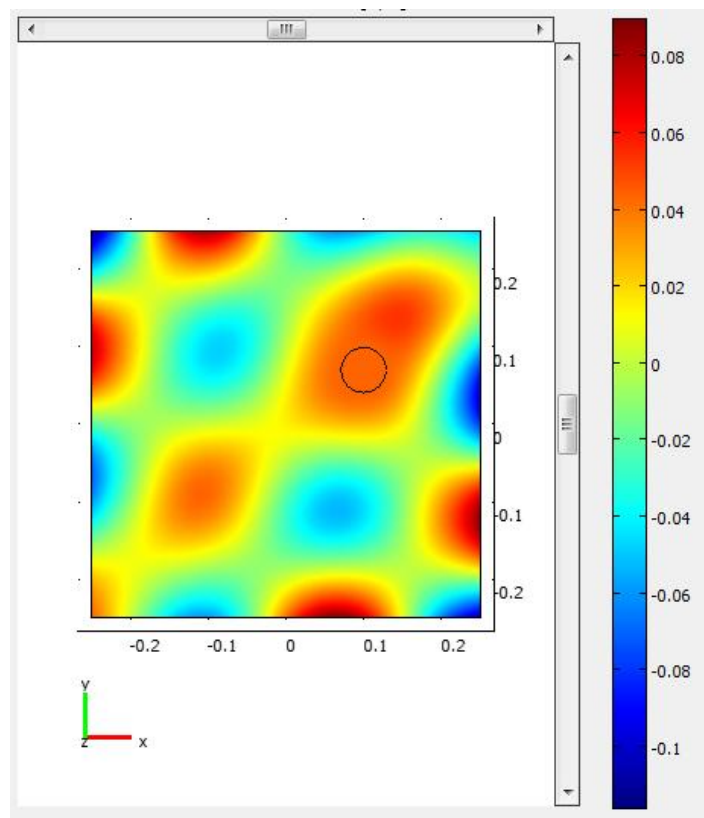
54. ábra



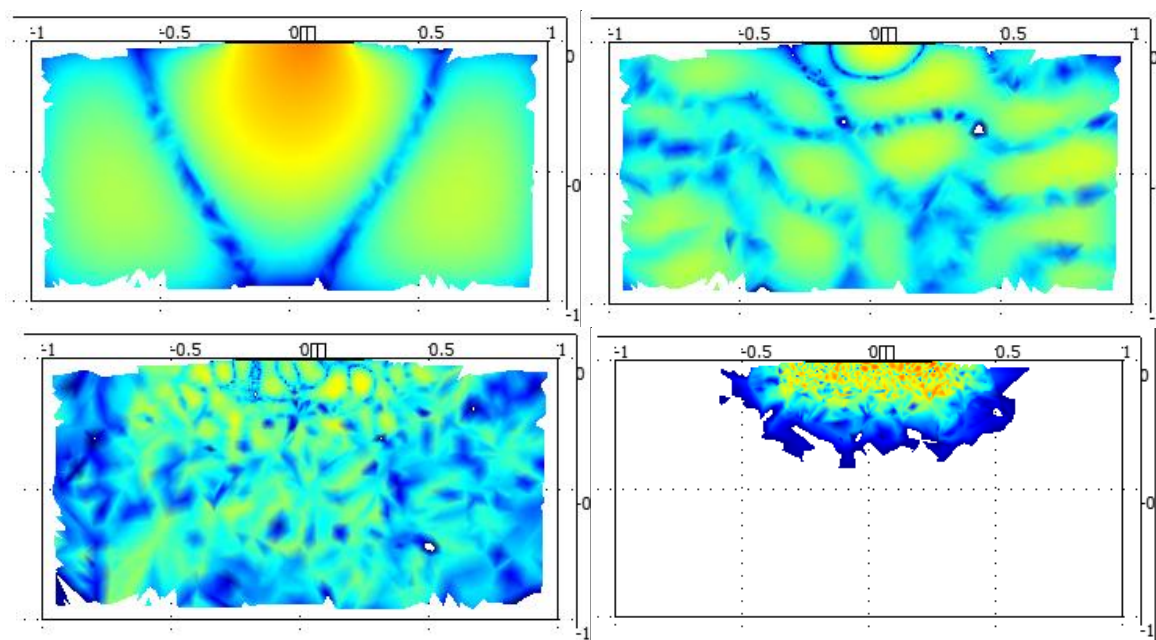
55. ábra



56. ábra



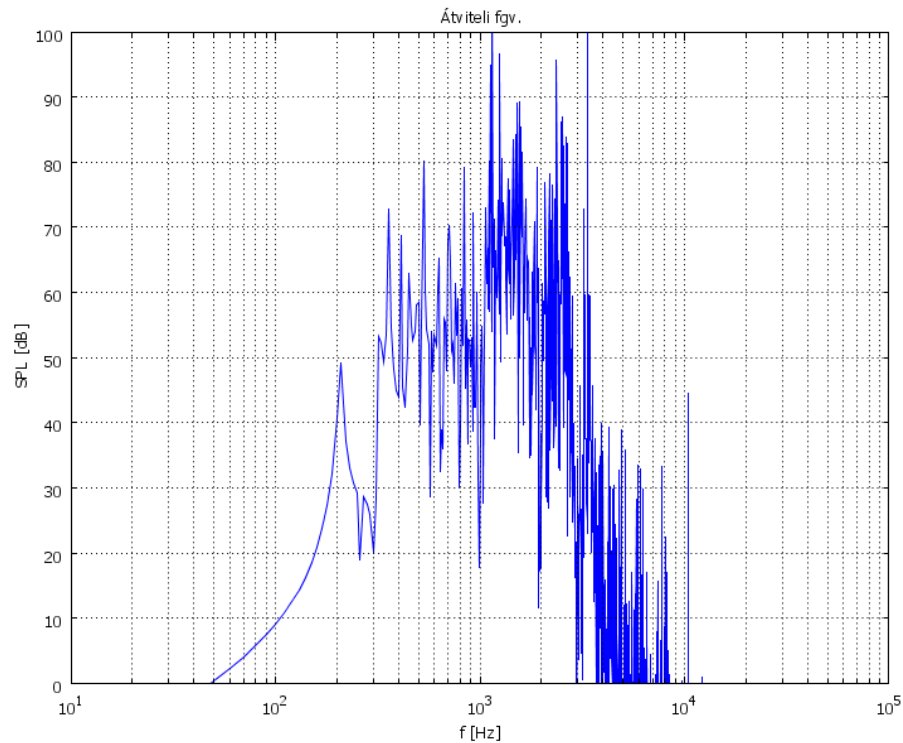
57. ábra



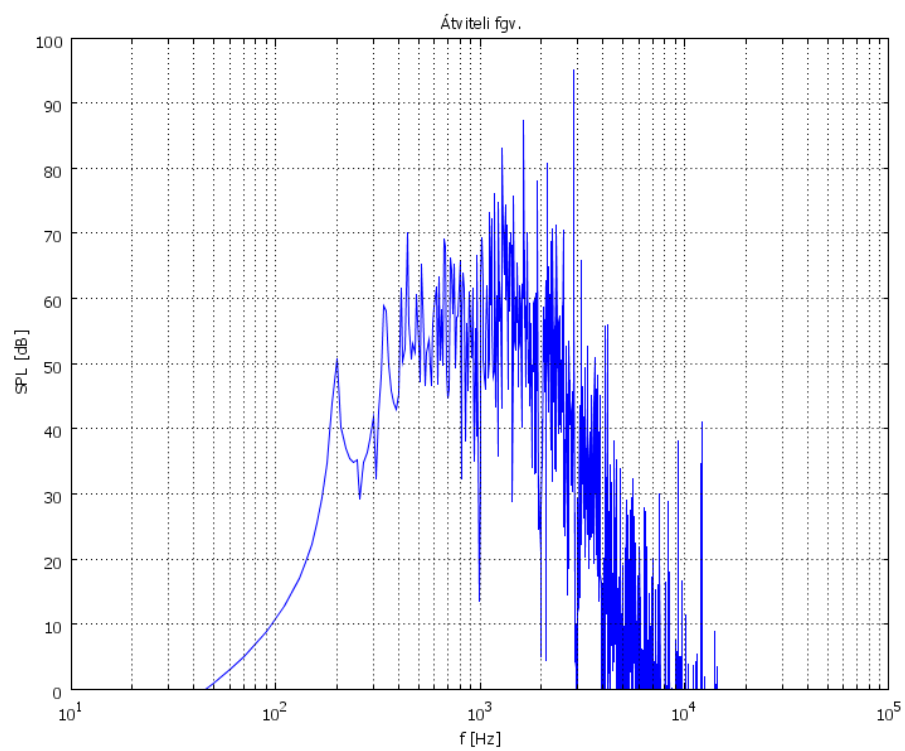
58. ábra

A szimuláció azt mutatja, hogy a 3 alapanyag között észrevehetően a különbség az iránykarakterisztikában, egyedül a rezgésképpen látható némi eltérés. Ezek alapján kijelenthető, hogy 50x50x0,6 cm-es táblaméret esetén az alapanyag nincs hatással a kialakult hangtérre. Feltételezhetően más táblaméretek esetén sem tapasztalunk jelentős különbséget.

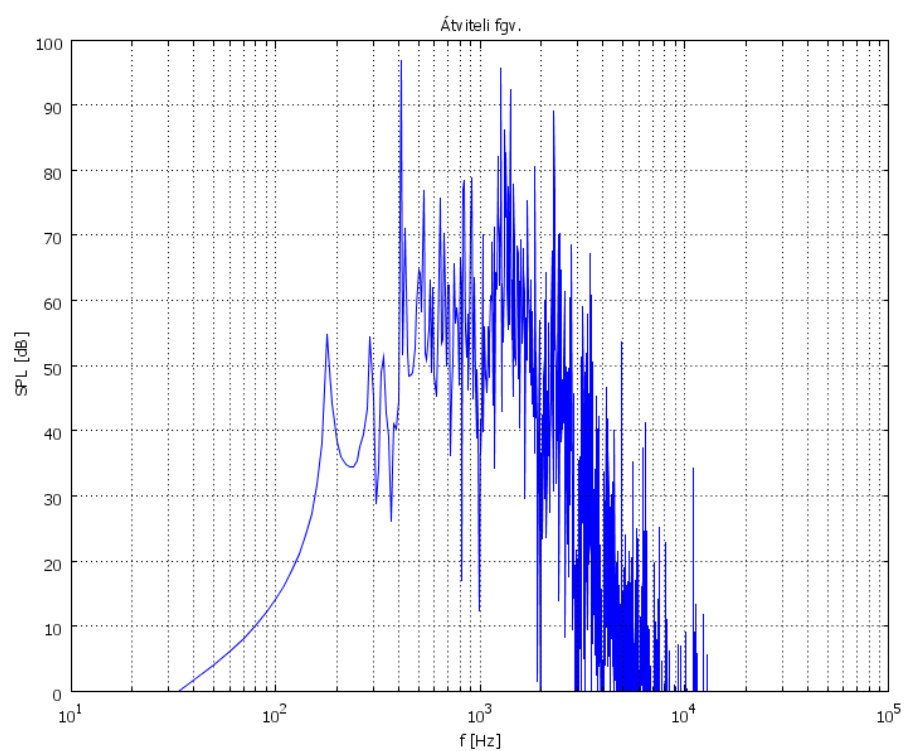
Az átviteli függvényeket összehasonlítva a következőket állapíthatjuk meg:



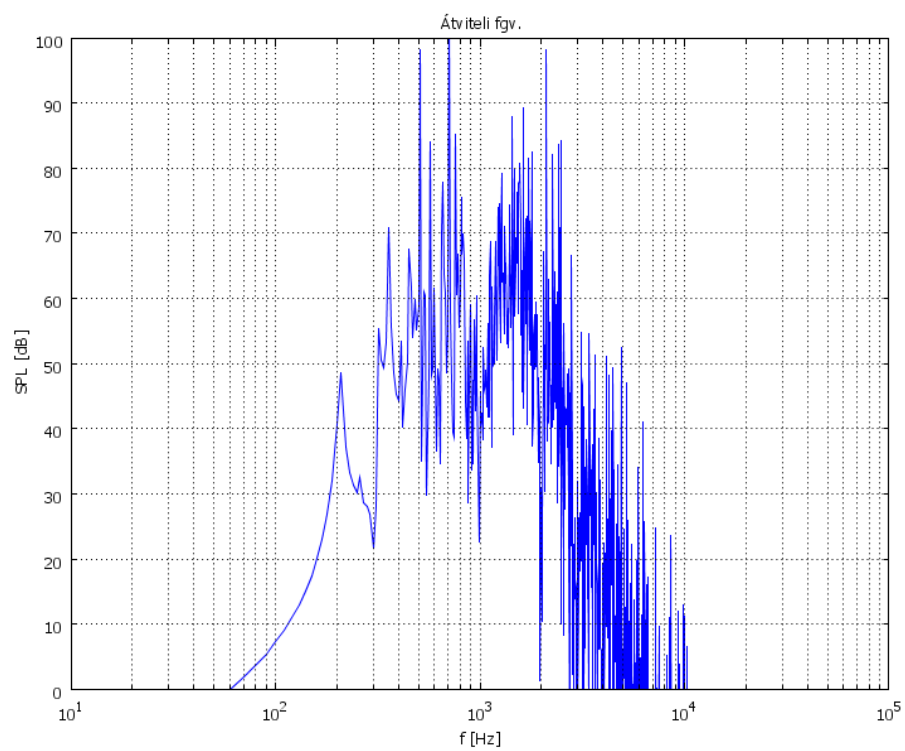
59. ábra: 50x50x0,6



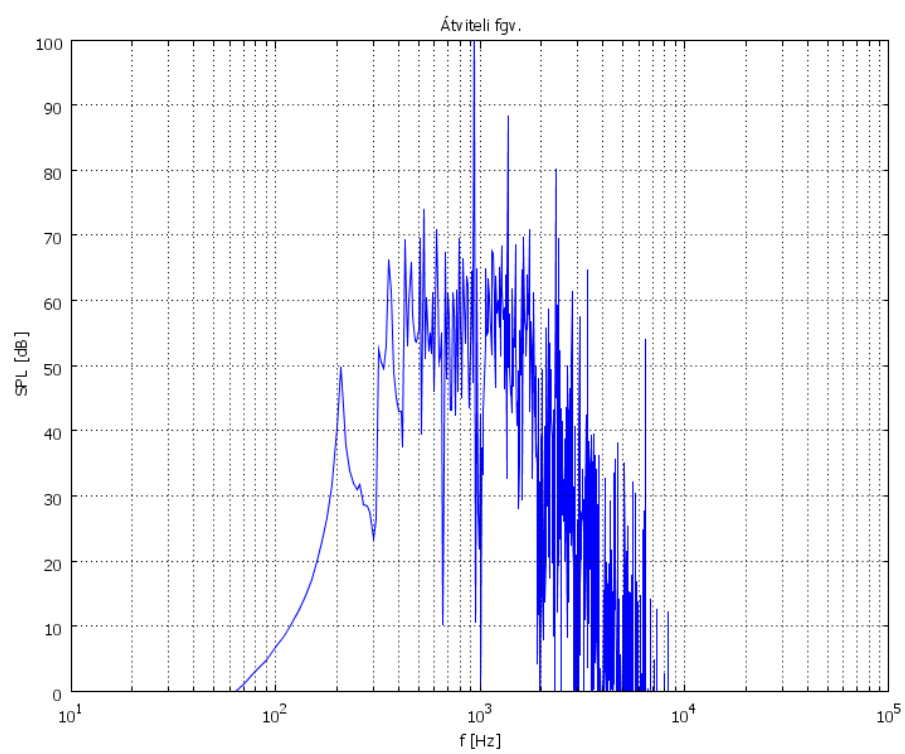
60. ábra: 75x75x0,6



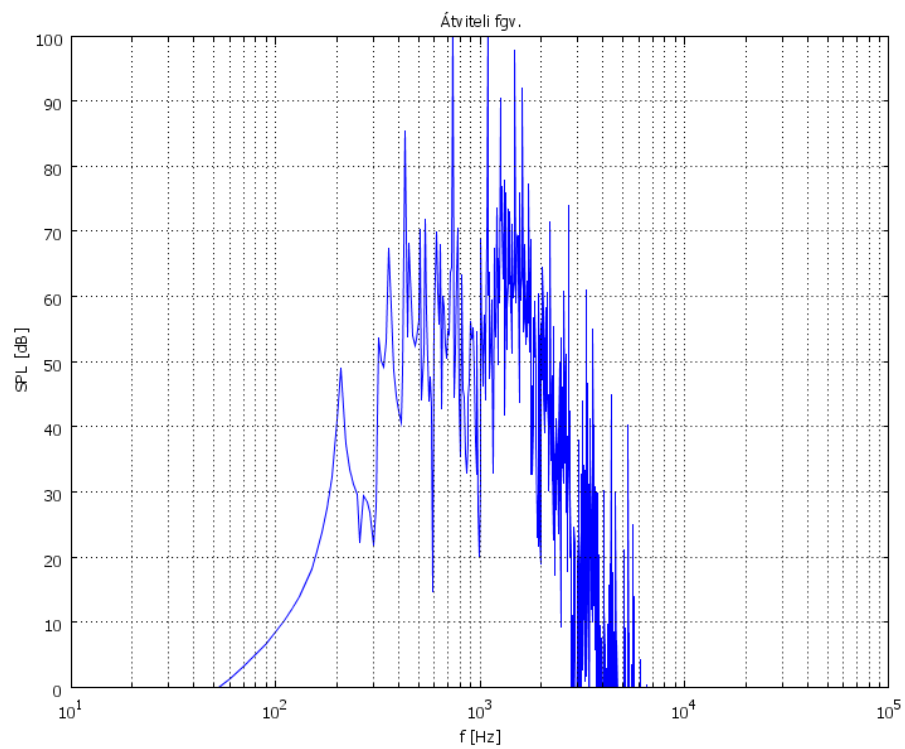
61. ábra: 100x100x0,6



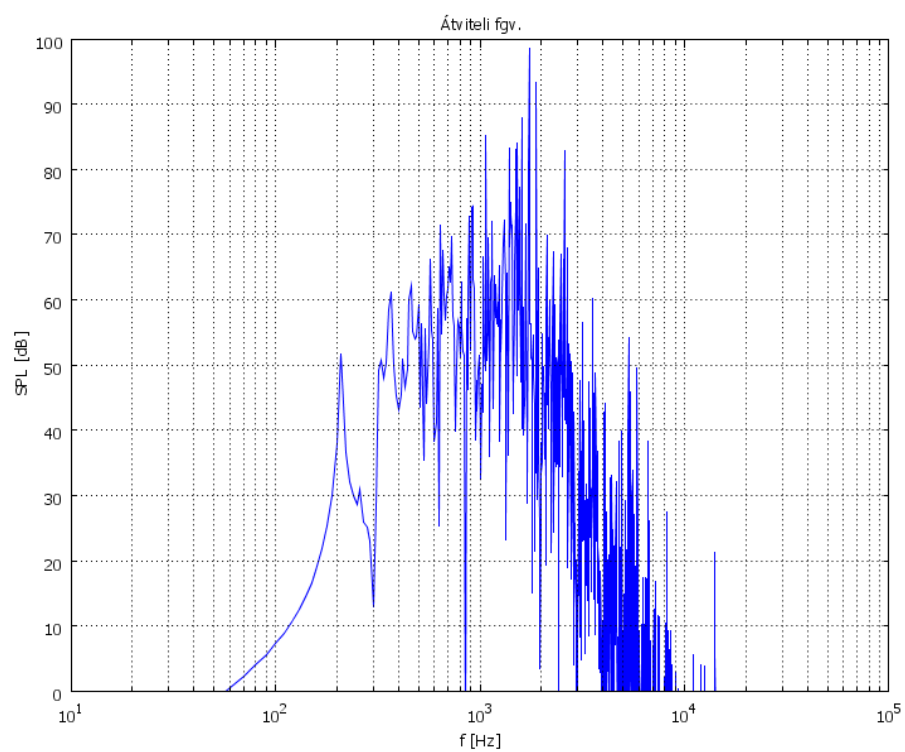
62. ábra: 50x50x1,2



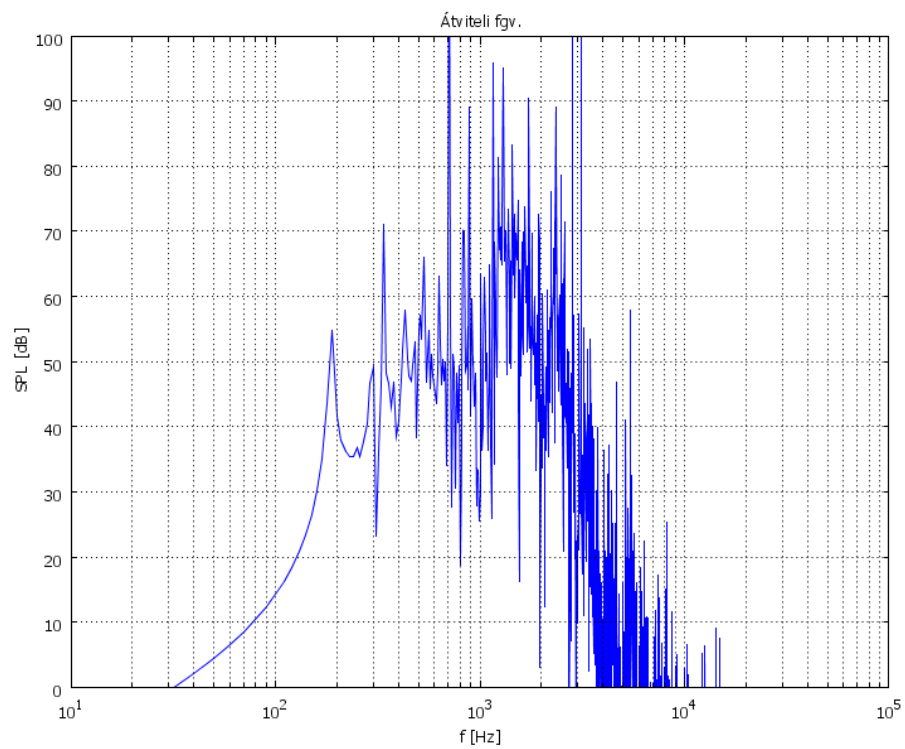
63. ábra: 50x50x1,8



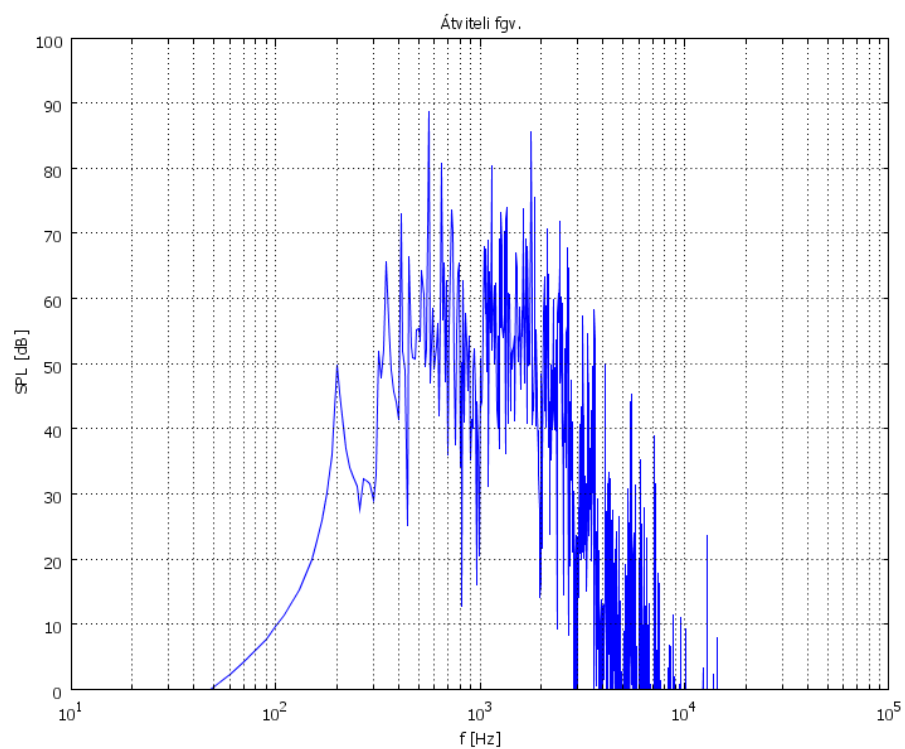
64. ábra: 50x50x2,4



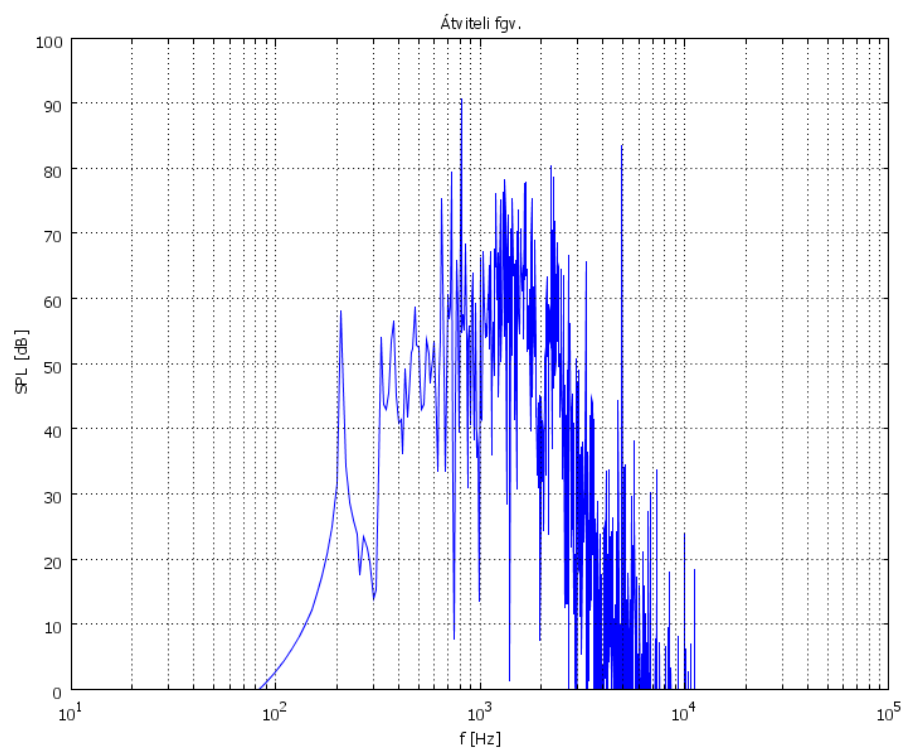
65. ábra: Kör; r = 25; h = 0,6



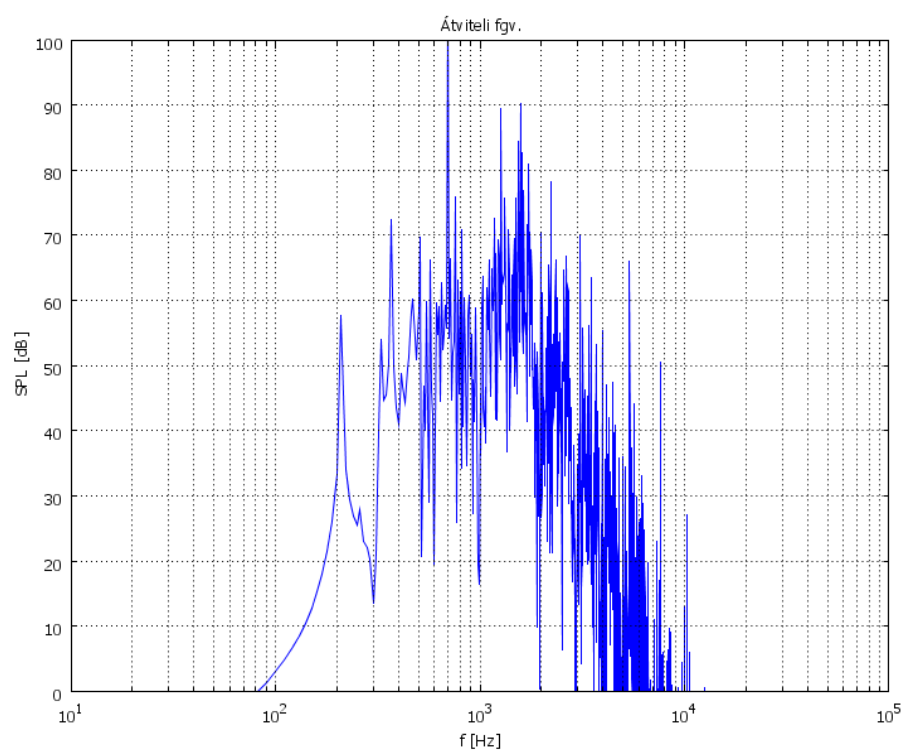
66. ábra: Kör; $r=50$; $h=0,6$



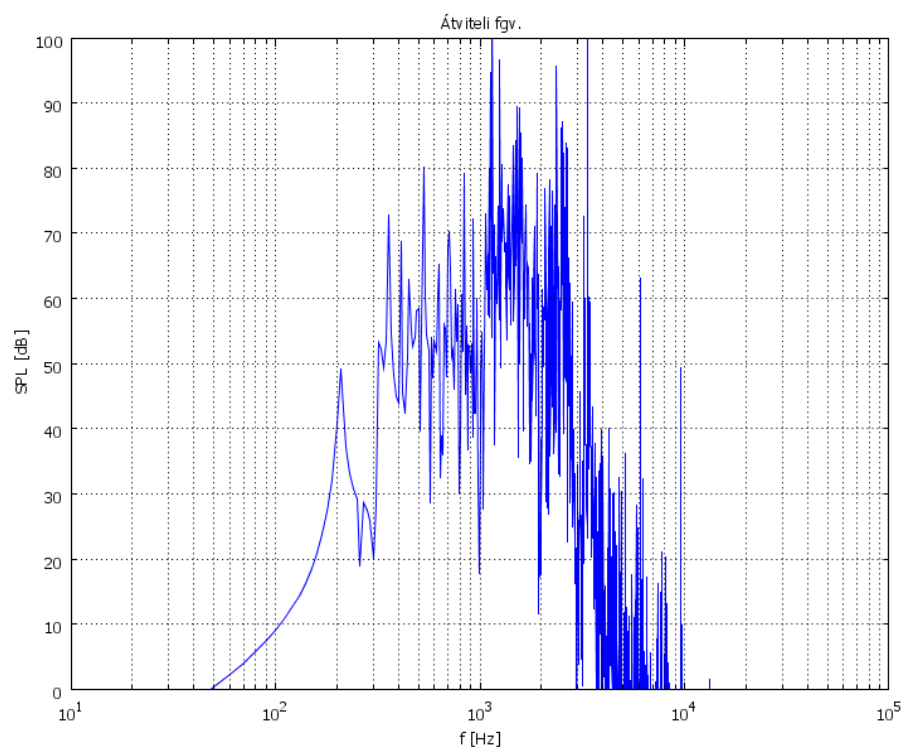
67. ábra: Ellipszis



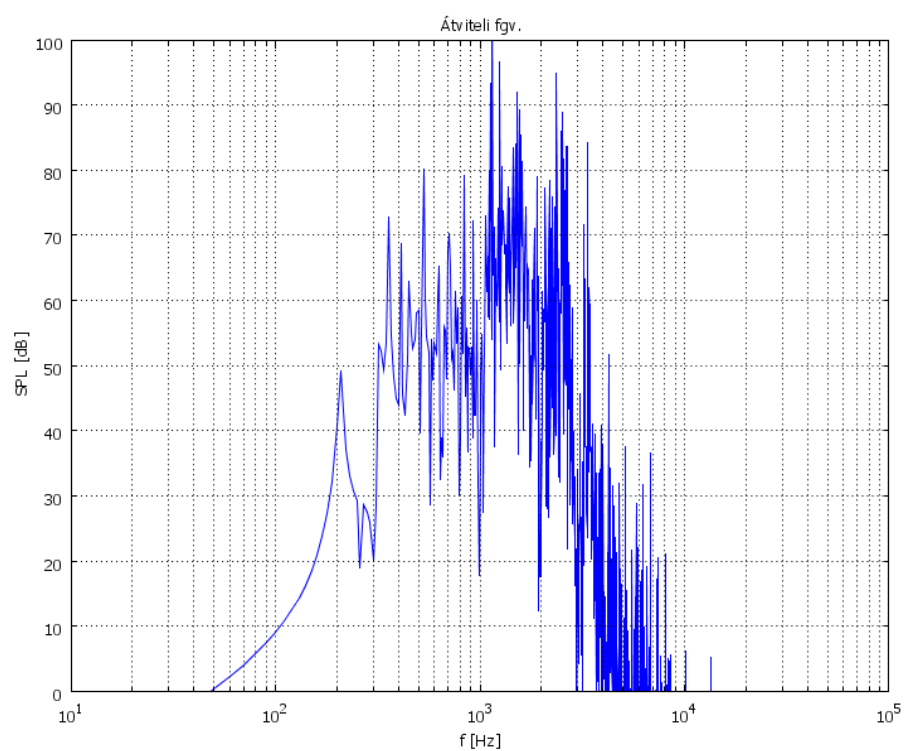
68. ábra: 25x50x0,6



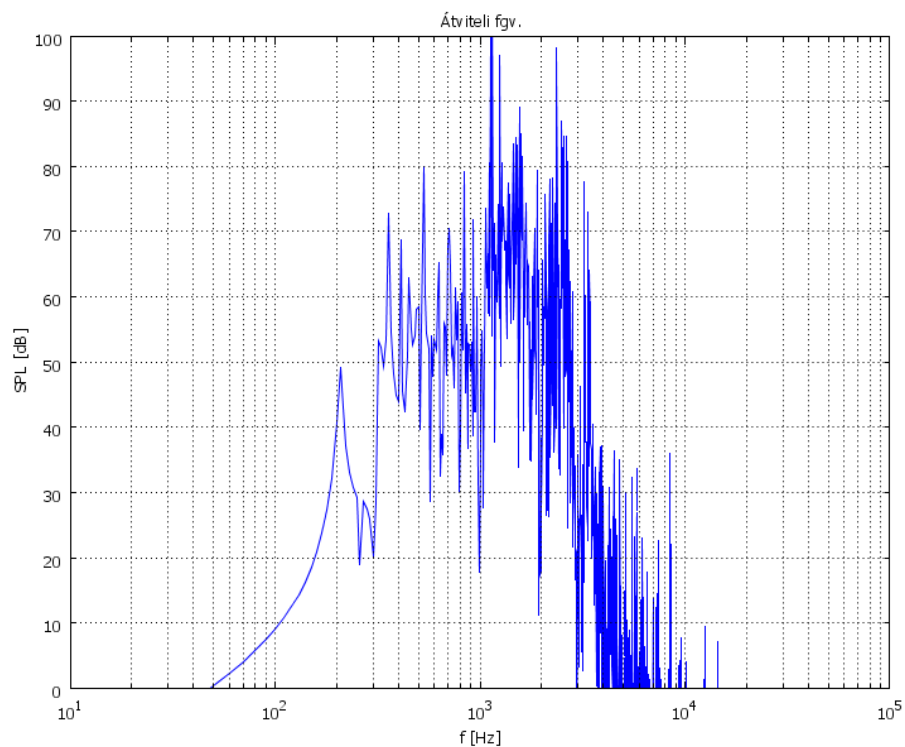
69. ábra: 25x75x0,6



70. ábra: 50x50x0,6 (márvány)



71. ábra: 50x50x0,6 (acél)

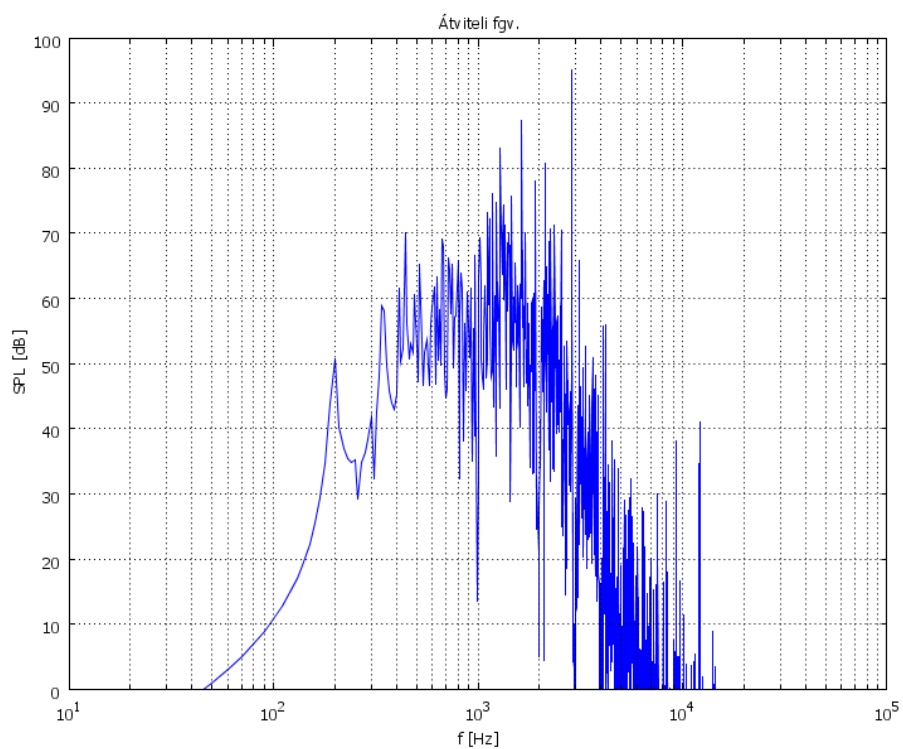


72. ábra: 50x50x0,6 (fa)

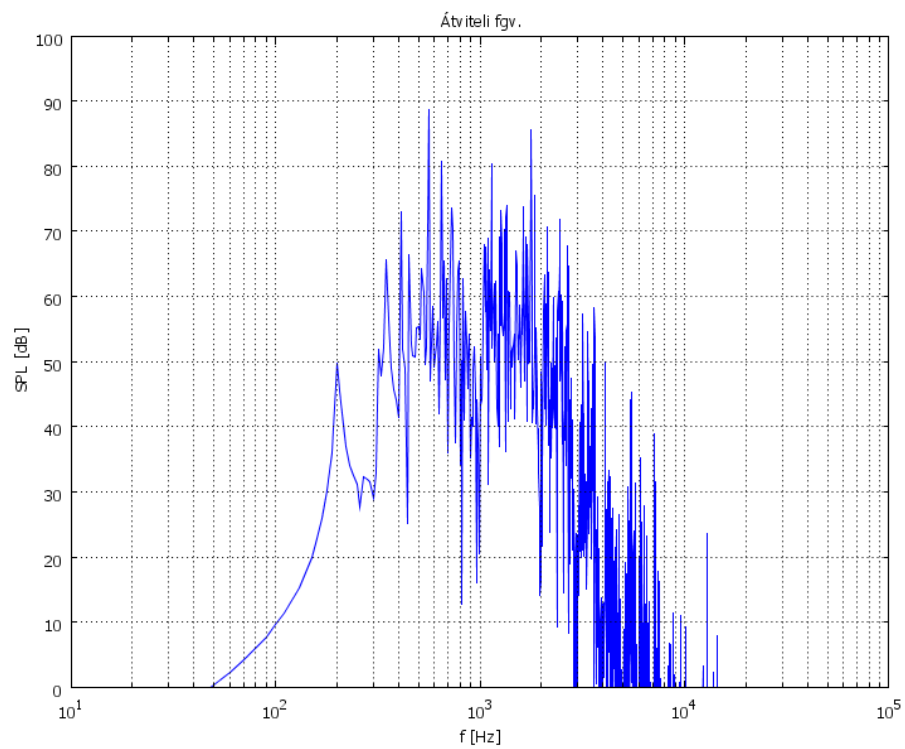
Első ránézésre alig-alig tudjuk megállapítani a különbséget. Ezért, vizsgáljuk meg az 1kHz-en létrehozott hangnyomásszinteket a tárgytól 1m távolságra, főirányban:

Tárgy	Hangnyomásszint [1kHz, 1m]
50x50x0,6 (üveg)	38
75x75x0,6 (üveg)	67
100x100x0,6 (üveg)	41
50x50x1,2 (üveg)	46
50x50x1,8 (üveg)	42
50x50x2,4 (üveg)	32
25x50x0,6 (üveg)	33
25x75x0,6 (üveg)	22
kör; r = 25; h = 0,6 (üveg)	18
kör; r = 50; h = 0,6 (üveg)	30
Ellipszis (üveg)	50
50x50x0,6 (acél)	38
50x50x0,6 (márvány)	38
50x50x0,6 (fa)	38

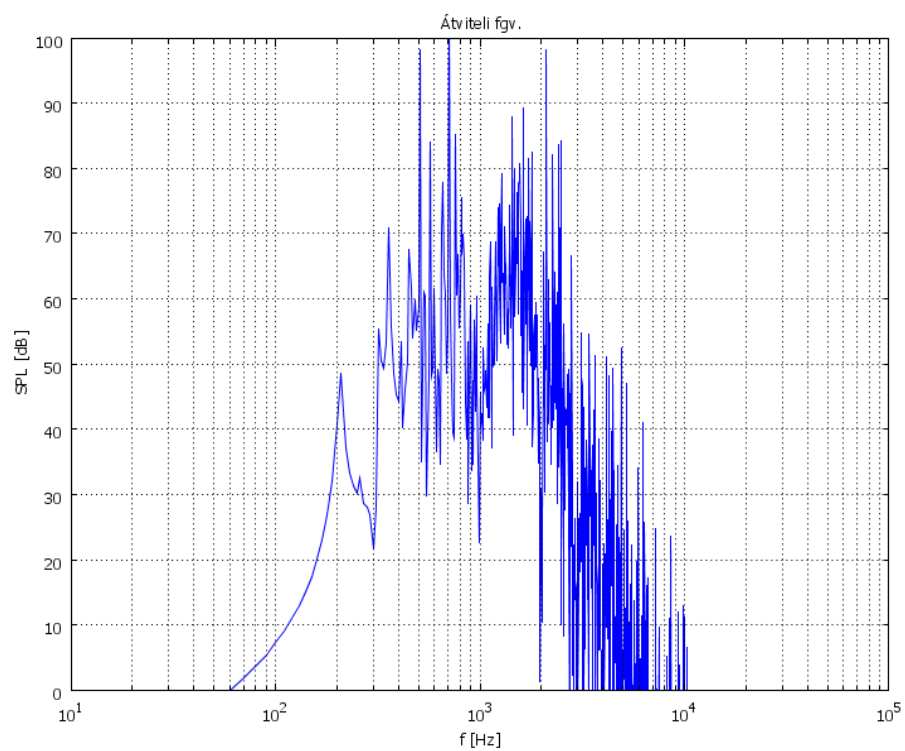
A három legnagyobb értéket a 75x75x0,6 cm-es üveg, az ellipszis alakú és az 50x50x1,2 cm-es üveg tárgy produkálta. Ezek átviteli függvénye még egyszer:



73. ábra: 75x75x0,6



74. ábra: Ellipszis



75. ábra: 50x50x1,2

Ezek közül pedig a legszélesebb, legegyenletesebb átvittel az ellipszis alakú üveglap rendelkezik.

Az egyes tárgyak esetén a rendszer érzékenységet vizsgálni sajnos nem tudom (az alkalmazott szimulációs forma miatt ez nem lehetséges), viszont a mérések során a következő eredményt kaptam:

50x50x0,6 cm-es üveglap esetén a rendszer érzékenysége (1kHz): 298,27 Pa/mV (24,75 dB).

Konklúzió

A dolgozat során igyekeztem elemezni egy még gyerekcipőben járó technológiát. A vizsgálat tárgyaként a SolidDrive SD1g üvegrezonátort választottam, említés szintjén a dolgozatomban szerepelt néhány konkurens gyártó terméke, valamint kiindulási alapként a dinamikus hangszóróról is kellett néhány szót ejteni. Az elemzést elsősorban szerettem volna szimulációs szoftver segítségével végezni, ehhez azonban meg szerettem volna győződni arról, hogy a szimuláció és a mért valóság közel azonos eredményt ad. Ehhez végezni kellett néhány mérést, majd összehasonlítani a szimuláció eredményeivel. A mérések során a rezgésmérést választottam az összehasonlítás alapjául, mivel ezt tudtam a legprecízebben és legkönnyebben megmérni, és nincs szükség süketszobára. Mérőjelként fehérzajt használtam, hiszen így később 20Hz-20kHz-ig bármelyik frekvenciát vizsgálhattam. Természetesen választhattam volna más, olyan mérőjelet is, ami több frekvenciát tartalmaz (pl.: MLS jel, sweep, stb.) A vizsgálandó frekvenciákat később igyekeztem úgy kiválasztani, hogy látványos eredményt kapjak (átviteli függvény maximumhelyein).

Miután két üveglap esetén is meggyőződtem arról, hogy a szimuláció a számomra megfelelő eredményt adja, többféle méretű és formájú tárgyat is leszimuláltam. Ezek többsége üveg alapanyagú, mivel a rezgetőt ehhez az anyaghoz ajánlja a gyártó. Az üveg mellett, ugyanazon méret esetén kipróbáltam még fa, márvány és acél alapanyagot is.

A szimulációk végeztével a következő tanulságokat vontam le a SolidDrive által gyártott üvegrezonátorral kapcsolatban:

A negatív oldal: sajnos az érzékenység érték meglehetősen alacsony, ezek után megkérdőjelezhető a gyártó állítása arról, hogy „a rezgető nagyon jó hatásfokkal dolgozik”. Természetesen ez az érték függ a rezgetett tárgytól, a szimuláció során vizsgált 75x75x0,6 cm-es üveglap esetén például már 50dB fölötti értéket kapnánk. De még ez az érték is messze van a jól bevált dinamikus hangszórók 90dB körüli értékétől, mégis úgy gondolom, hogy további szimulációk lefuttatása során, tovább keresve az optimális méretű, formájú és anyagú tárgyat megközelíthető/elérhető lenne ez az érzékenységérték.

Sávszélesség szempontjából is távol esik az indirekt rezgetők által használt rendszerek sávszélessége a dinamikus hangszórókétól. Éppen ezért véleményem szerint minőségi zenehallgatáshoz nem ez a megoldás a legmegfelelőbb.

Ugyanakkor ne feledkezzünk meg a pozitívumokról: irányítottság egyáltalán nem volt tapasztalható, tehát az adott teret az indirekt rezgetős rendszerek egyenletesen sugározzák be, a hang forrását a hallgató nem tudja megállapítani, valamint ugyan nem vizsgáltuk, de gondoljunk vissza a dolgozat elején említett STI értékre!

Ez utóbbi tulajdonságok miatt viszont remekül használható beszédhang hangosítására például egy egyetemi előadáson. A rezgetők kiválóan elrejthetők akár gipszkarton fal mögé, akár a terem két oldalán, akár a mennyezeten. Másik elhelyezési lehetőség például az asztalokba rejtve a hallgatók előtt.

Érdekes lehet még kipróbálni a rezgetőt motoros bukósisakra szerelve, így kihangsósítani a motoros számára a mobiltelefonját. Ezzel szükségtelenné válik a fülhallgató beszerelése a sisak bélésébe, ami sok esetben rontja a kényelmes használatot.

És természetesen bármilyen olyan esetben is használható, ahol a minőség nem elsődleges szempontként jelentkezik, sokkal fontosabb a használat során a design, a rejtett/láthatatlan elhelyezés.

Irodalomjegyzék

Nyomtatott források:

1. Lamoth Emil – Elektroakusztika (Műszaki Könyvkiadó, 1972)
2. Tarnóczy Tamás – Hangnyomás, hangosság, zajosság (Akadémiai Kiadó, 1984)
3. Tarnóczy Tamás – Akusztika (fizikai akusztika) (Akadémiai Kiadó, 1963)
4. Dr. Wersényi György – Bevezetés a stúdiótechnikába (egyetemi jegyzet, SZE-MTK, 2008)
5. Ballou, Glen; Gene Patronis, Mahlon Burkhard - Handbook for Sound Engineers: The New Audio Cyclopedia. (Indianapolis, Howard W. Sams & Co., 1987)
6. Dr. Wersényi György – Műszaki akusztika (egyetemi jegyzet, SZE-MTK, 2008)

Internetes és elektronikus források:

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Young%27s_modulus
2. http://www.engineeringtoolbox.com/poissons-ratio-d_1224.html
3. <http://www.muszeroldal.hu/tudasbazis.php> és elágazó oldalai
4. http://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d_417.html
5. Comsol Multiphysics 3.5 súgója
6. http://www.glas-platz.de/_index.htm (2011. október)
7. <http://www.powerview.com/index.html> (2011. október)
8. THE MLS ANALYSIS TECHNIQUE AND CLIO - Rev 1.0 - 29 Dec 1997
9. <http://www.soliddrive.com/index.html> (2011. október)
10. Feonic F1.3/F4 használati útmutató (2011. október)
11. INSTALLATION & USE GUIDE for SolidDrive SD1g on glass surfaces (2011. október)
12. SolidDrive Brochure (2011. október)
13. <http://purebits.com/mlsteo.html> (2011. november)
14. <http://hu.wikipedia.org/w/index.php?title=F%C3%A1jl:Hangsz%C3%B3r%C3%B3.jpg&filetimestamp=20060626140440> (2011. november)
15. <http://www.pioneer.eu/uk/products/25/132/201/TS-Q131C/index.html> (2011. november)

1.sz.melléklet

Comsol Multiphysics 3.5 Acustics Module program használata üveghangszórók szimulációja esetén

Operációs rendszer: Microsoft Windows 7

Készítette: Skripek Péter, villamosmérnöki (MSc) hallgató, neptun-kód: P05RXR

Rendszerszükséglet:

32-bit Windows:

- *Pentium III processzor, vagy újabb*
- *OpenGL 1.1, vagy DirectX 8.0, vagy újabb*
- *minimum 128MB grafikus kártya memória*

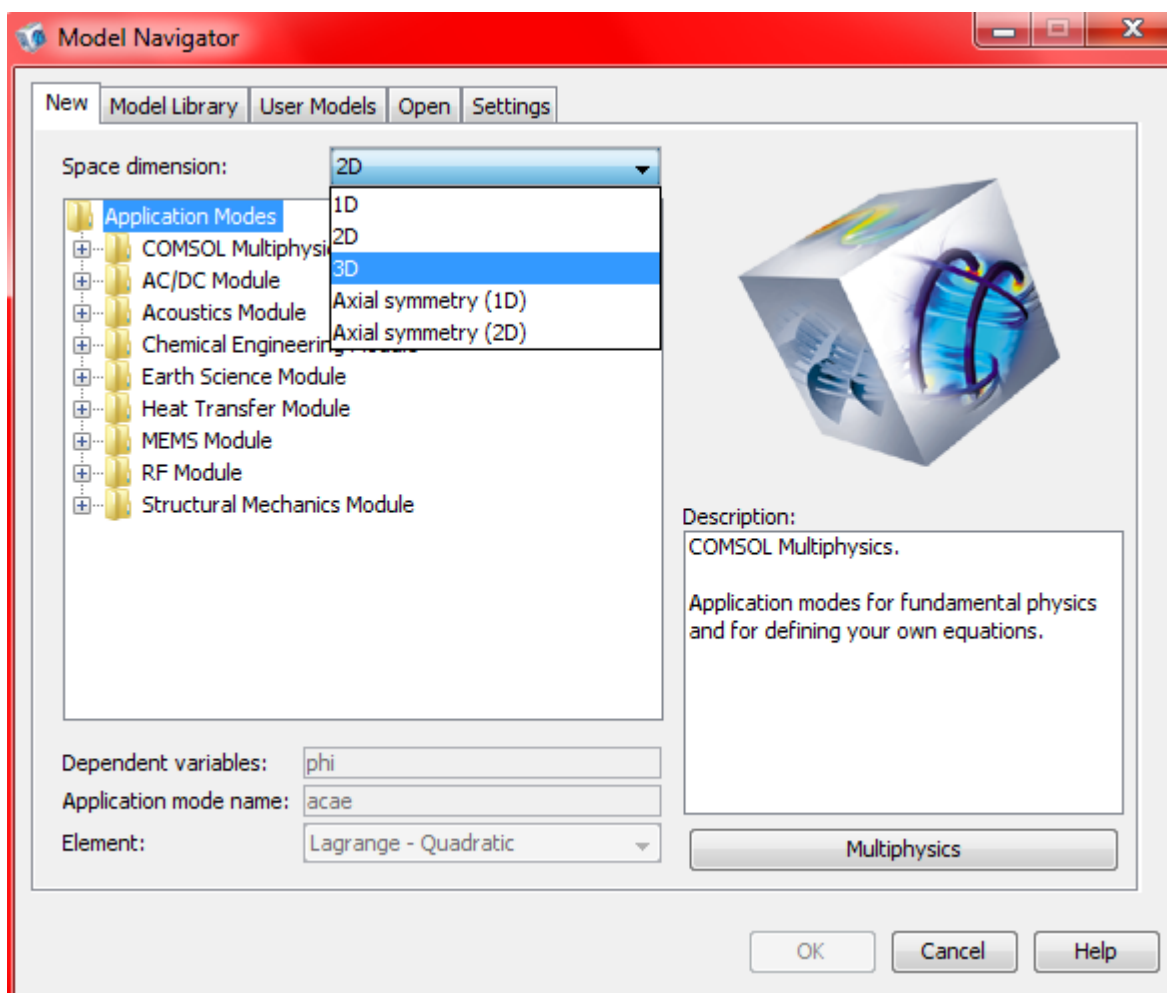
64-bit Windows

- *Az alábbi processzorok valamelyike: AMD64, Intel EM64T*
- *minimum 128MB grafikus kártya memória*

A dokumentum egy példa levezetése során bemutatja a Comsol Multiphysics 3.5 (Windows) program működését. Bemutatásra kerül, hogy egy egyszerű szimulációhoz elvégzéséhez milyen beállításokat szükséges megtennie a felhasználónak.

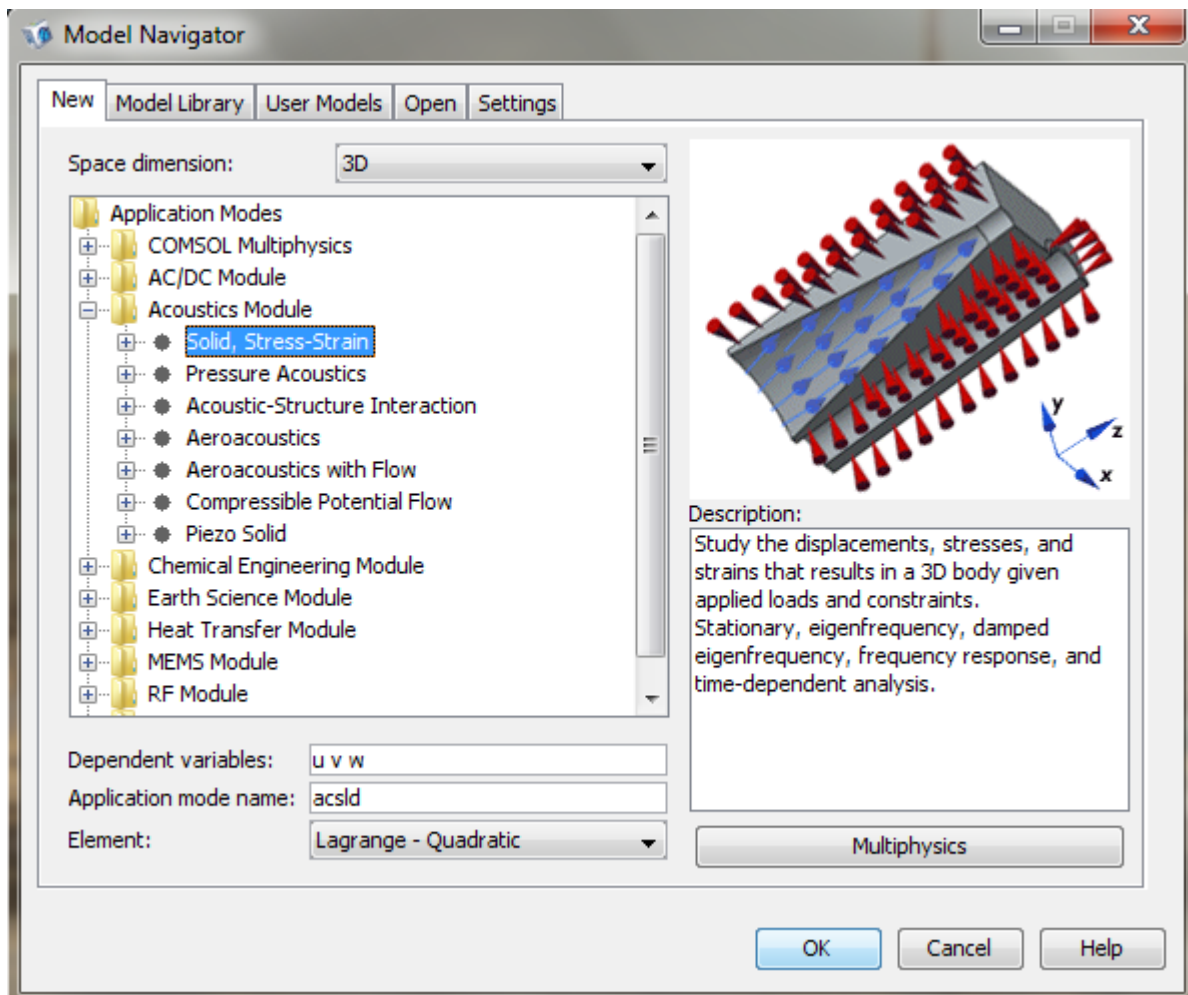
Szimulációs példa: Adott egy 60x60x0.5 cm-es egyszerű üveglap, mely SolidDrive SD1g rezgetővel van felszerelve. Milyen iránykarakteristikával rendelkezik szabad térben? Az üveglap egyes pontjai milyen amplitúdóval végeznek rezgéseket?

Telepítés után a programot az asztalon elhelyezett Comsol Multiphysics 3.5 ikonnal indíthatjuk el.



76. ábra

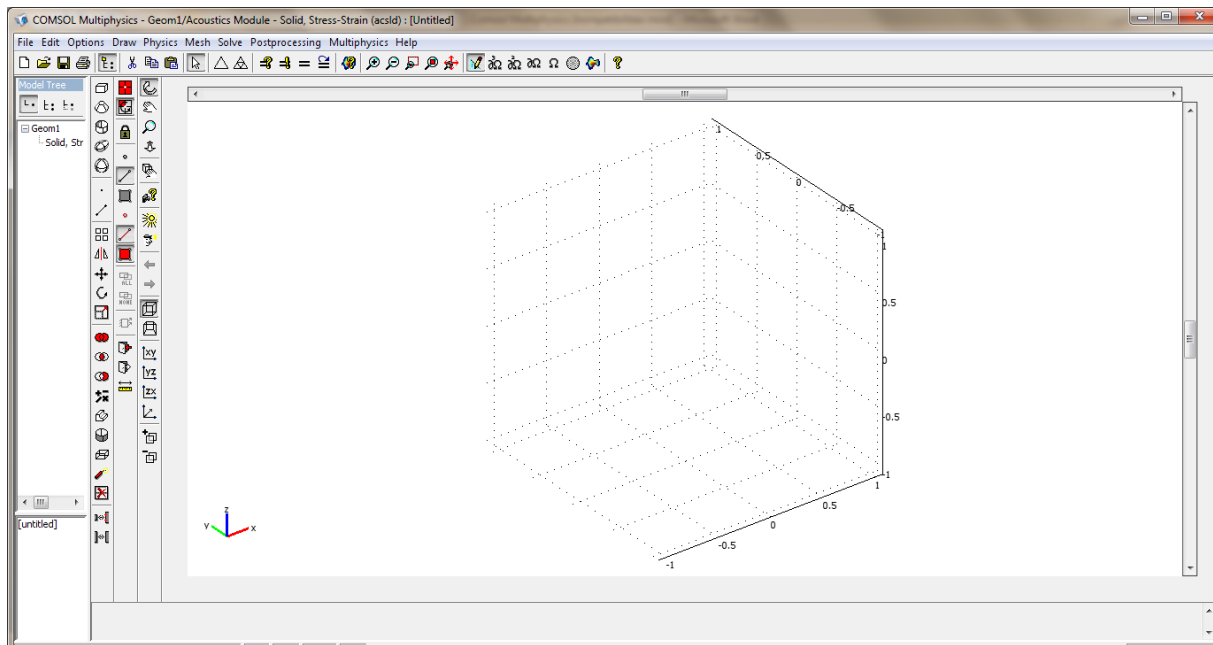
A Space dimension menüpont alatt válasszuk a 3D-s modellt. 1D vagy 2D modell választása szóba sem kerülhet, mivel például az iránykarakterisztika során az üveglapra merőleges síkban kell vizsgálnunk a teret, ami szükségessé teszi a 3D-s modellt, forgásszimmetrikus eset (Axial symmetry) ugyancsak alkalmatlan számunkra, mivel a szimulált üveglapunk (illetve komplett üveghangszórónk, mely egy üveglapból és ráragasztott rezgetőből áll) semmiképpen nem nevezhető forgásszimmetrikus alakzatnak.



77. ábra

Miután kiválasztottuk a 3D modellünket, meg kell határoznunk a fizikai problémát, amit szeretnénk leszimulálni. Mivel mi az üveg rezgéseit, illetve az általa létrehozott hangteret szeretnénk meghatározni, ezért az Acoustics Module – Solid, Stress-Strain módra lesz szükségünk.

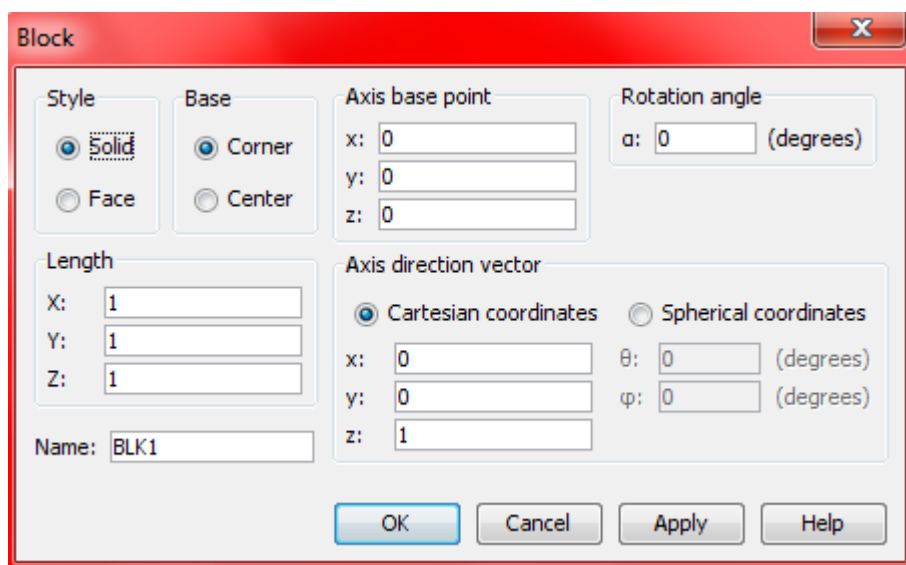
További beállítások nem szükségesek, az OK gombra kattintva elindul a program.



78. ábra

Az menüpontok itt is hasonlóak, mint a többi Windows-os program esetén, továbbá a program teljes működésének bemutatása meghaladja e dokumentum kereteit, ezért csak a számunkra elengedhetetlen pontokra térek ki.

Draw menüponton belül választhatjuk ki a rajzolni kívánt elemeket, illetve már meglévő elemeken végezhetünk különféle változtatásokat. Nekünk a Block illetve a Cylinder alakzatok megrajzolására van szükségünk.



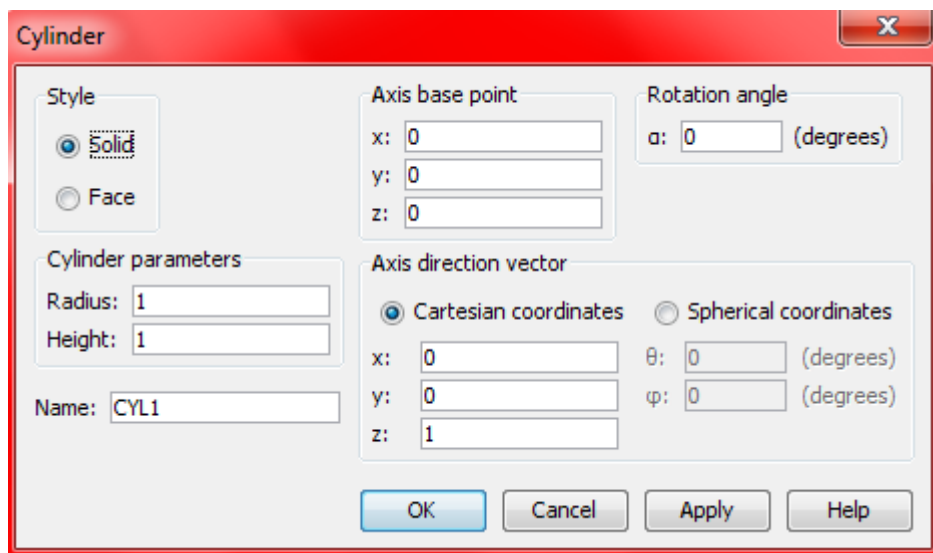
79. ábra

A Blockra kattintva, a felugró ablakban állíthatjuk be az alakzat tulajdonságait. Felülről lefelé, balról jobbra haladva:

- Stílus: tömör vagy felület.
- Bázispont helyzete legyen az alakzat egy sarka, vagy annak közepe.
- Bázispont koordináták: x, y, z.
- Forgatás: az alakzat tengelye körül, fokban megadva
- Méretek: x, y, z irányban
- Tengelyvektor iránya
- Név

Az Apply gombra kattintva megtekinthetjük az alakzatot, ekkor a felugró ablak nem tűnik el, az alakzat tulajdonságait módosíthatjuk.

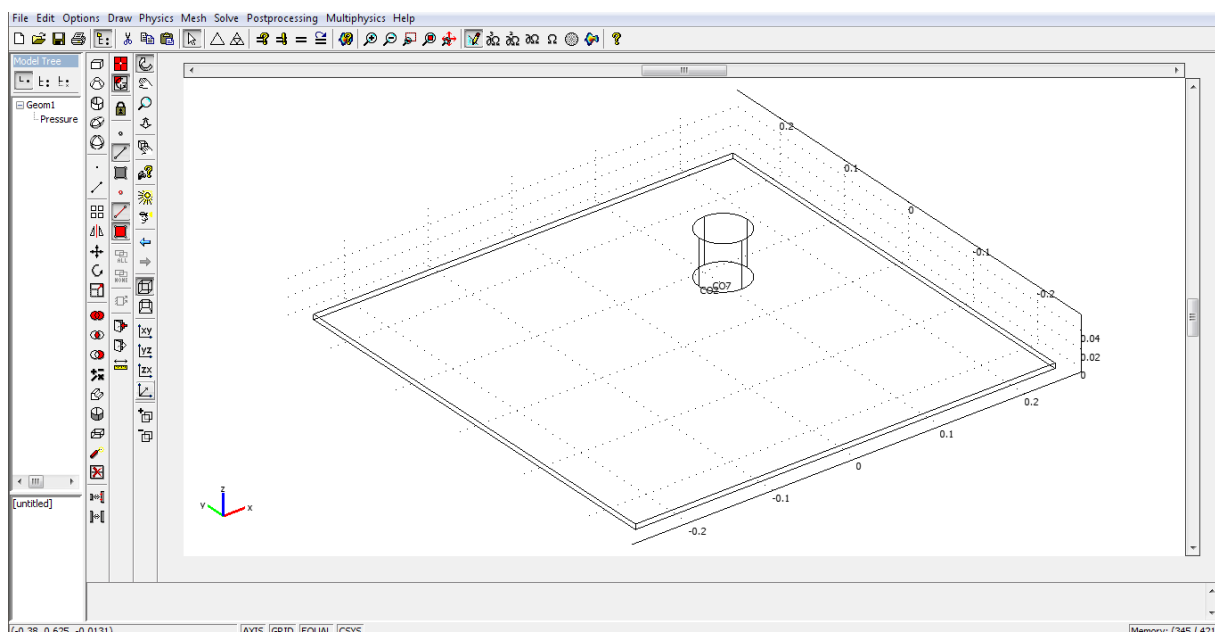
Az OK gombra kattintva véglegesíthetjük az alakzatot.



80. ábra

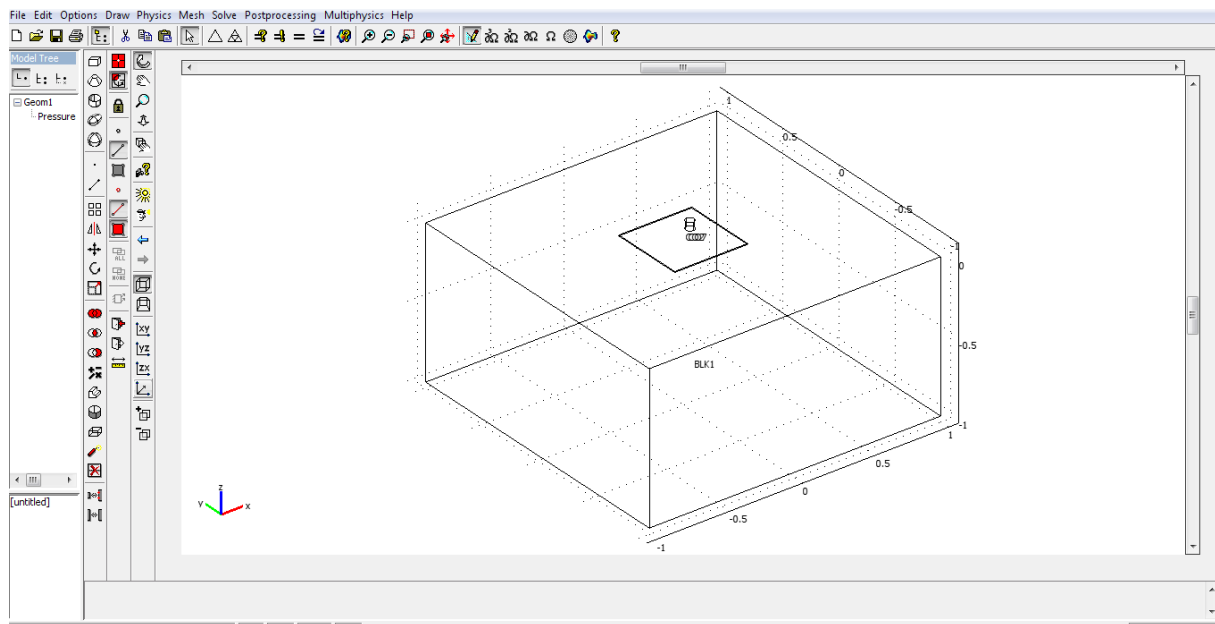
A Draw – Cylinderre kattintva, a felugró ablakban megadhatjuk a következőket:

- Stílus: tömör vagy felület.
- Bázispont (középpont) koordináták: x, y, z.
- Forgatás: az alakzat tengelye körül, fokban megadva
- Méretek: alap sugara és magasság
- Tengelyvektor iránya
- Név



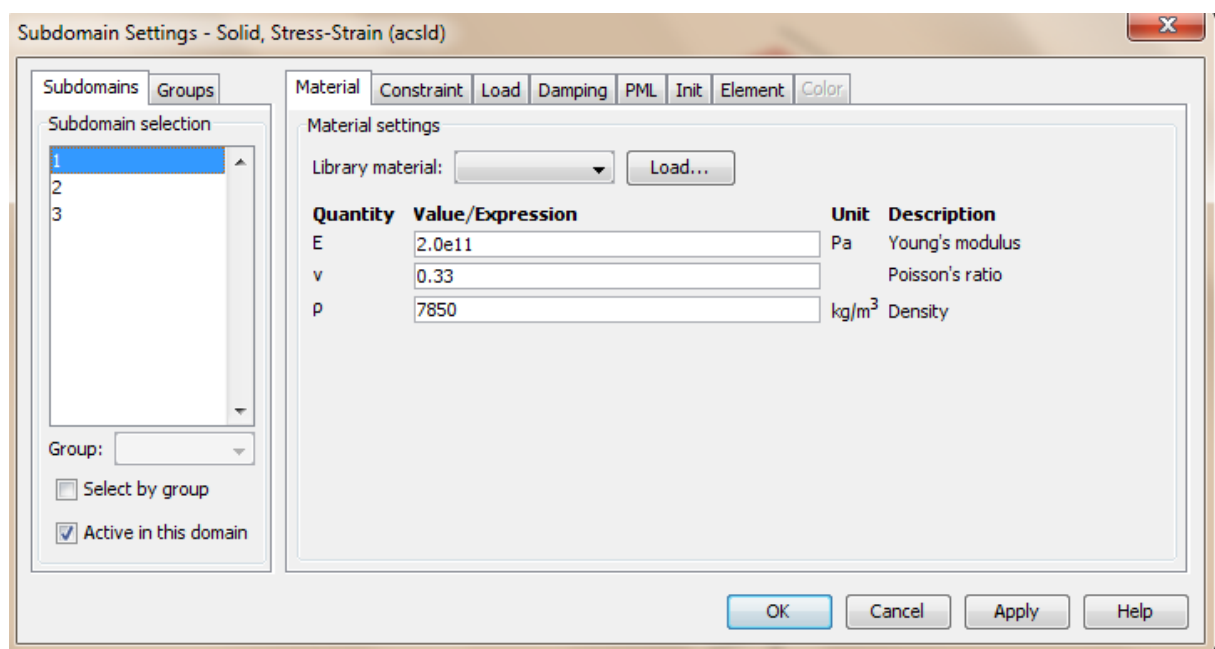
81. ábra

Ezzel a lépéssel berajzoltuk a programba a mérendő eszközt, most szükségünk van még egy térre, amin belül vizsgáljuk a kialakult hangteret. Tegyük fel, hogy szabad térben vizsgálódunk. Ez a legegyszerűbb eset, ekkor csak egy megfelelően nagy gömböt, vagy négyzetet kell az eszköz köré rajzolni. Én ez utóbbit választottam. A számítási idő csökkentése érdekében, feltételezve, hogy a két féltérben megegyezik a sugárzás, csak az egyik féltérben végzek vizsgálatokat.



82. ábra

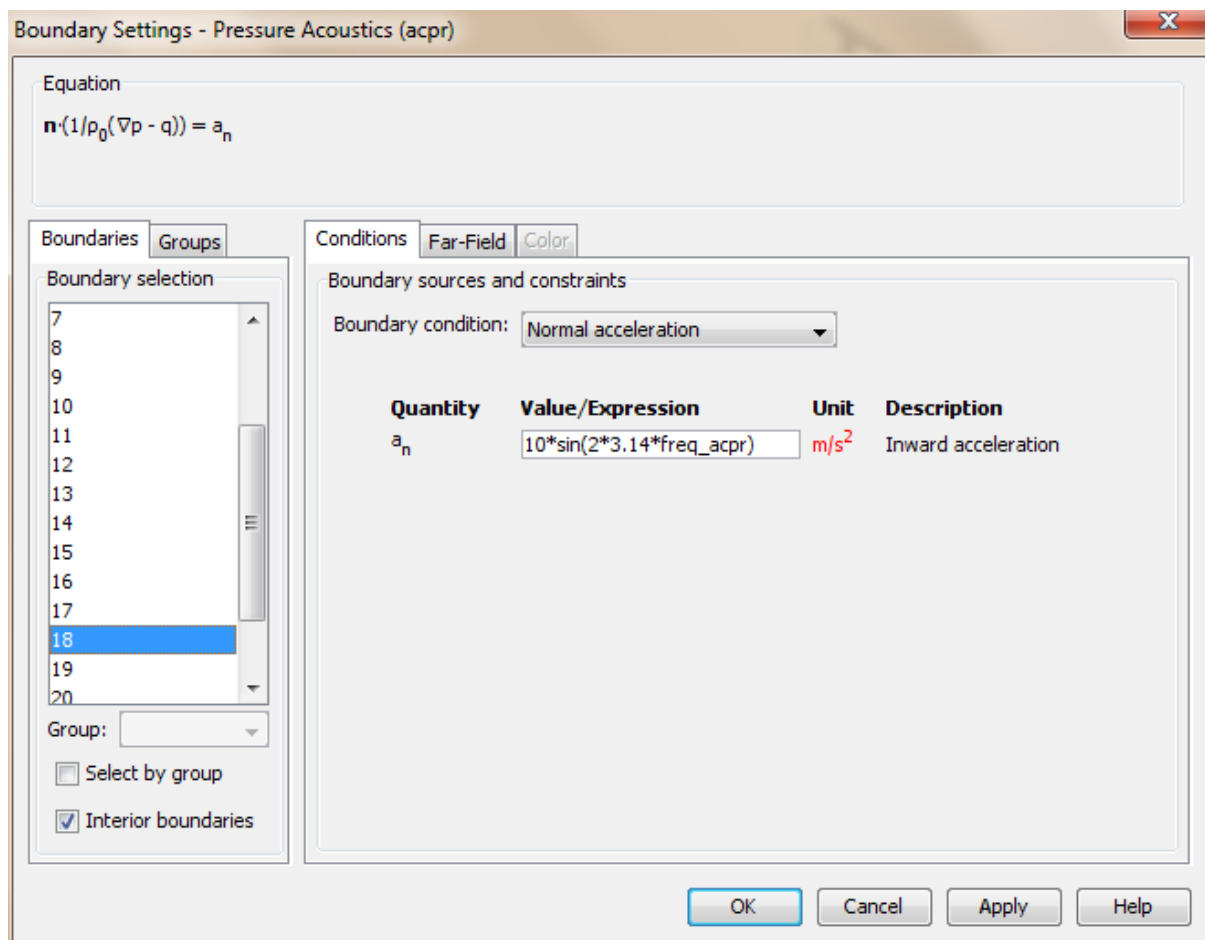
Ezután meg kell adnunk az anyagparamétereket. Ezt a Physics – Subdomain settings menüpont alatt tehetjük meg.



83. ábra

Subdomain selection listában láthatóak az általunk berajzolt alakzatok, ezek közül egyet vagy többet kijelölve adhatunk meg anyagparamétereket, vagy a program anyagjegyzékéből választhatunk ki anyagokat. Én a kézzel történő megadást választottam.

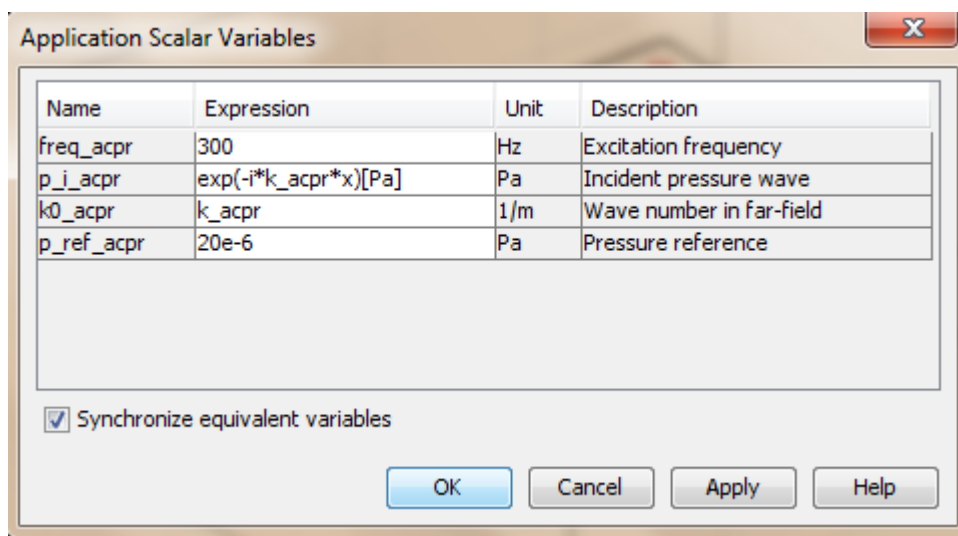
Ebben az esetben az egyes anyagokra meg kell adni azok Young modulusát, Poisson számát és sűrűségét.



84. ábra

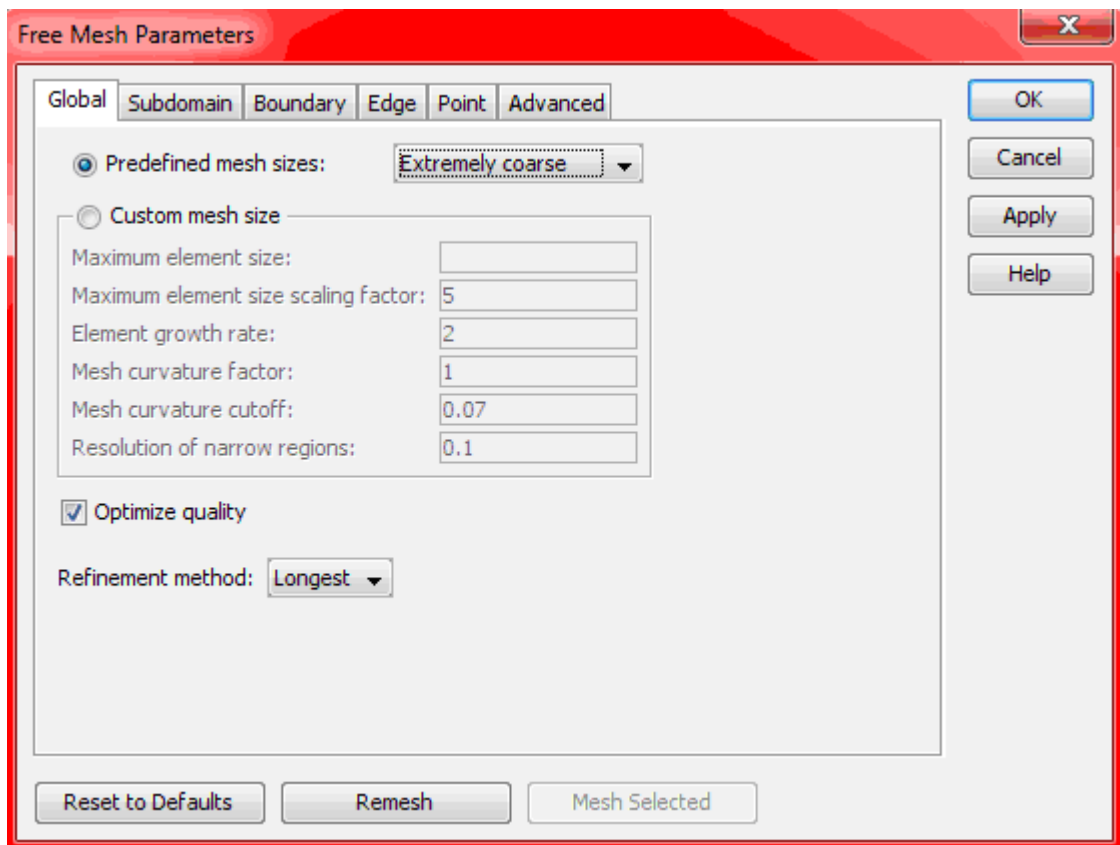
Most szükséges megadni, hogy az egyes határok milyen fizikai tulajdonságokkal bírnak. Ezt a Physics – Boundary Settings menüpontban adhatjuk meg. Az interior boundaries négyzetét pipáljuk ki, és akkor hozzáférünk az összes határhoz. A 18-as számú esetünkben a gerjesztés, itt rezgeti a rezgető az üveglapot. Tetszőleges amplitúdójú lehet a gerjesztés, hiszen a tér jellege ettől nem függ. A gerjesztés legyen 300Hz-es szinusz rezgés. A boundary condition listából a Normal acceleration-t kell kiválasztanunk és megadni a következő értéket: $\sin(2 \cdot 3.14 \cdot \text{freq_acpr})$. Az freq_acpr értékét később definiáljuk. A többi határ alapbeállítása megfelelő.

Ezzel a lépéssel már majdnem befejeztük a beállításokat. Nincs más dolgunk, mint megadni a gerjesztés frekvenciáját (freq_acpr). Ezt a Physics – Scalar variables menüpontban tehetjük meg. A megfelelő sorba írjuk be a 300Hz-t.



85. ábra

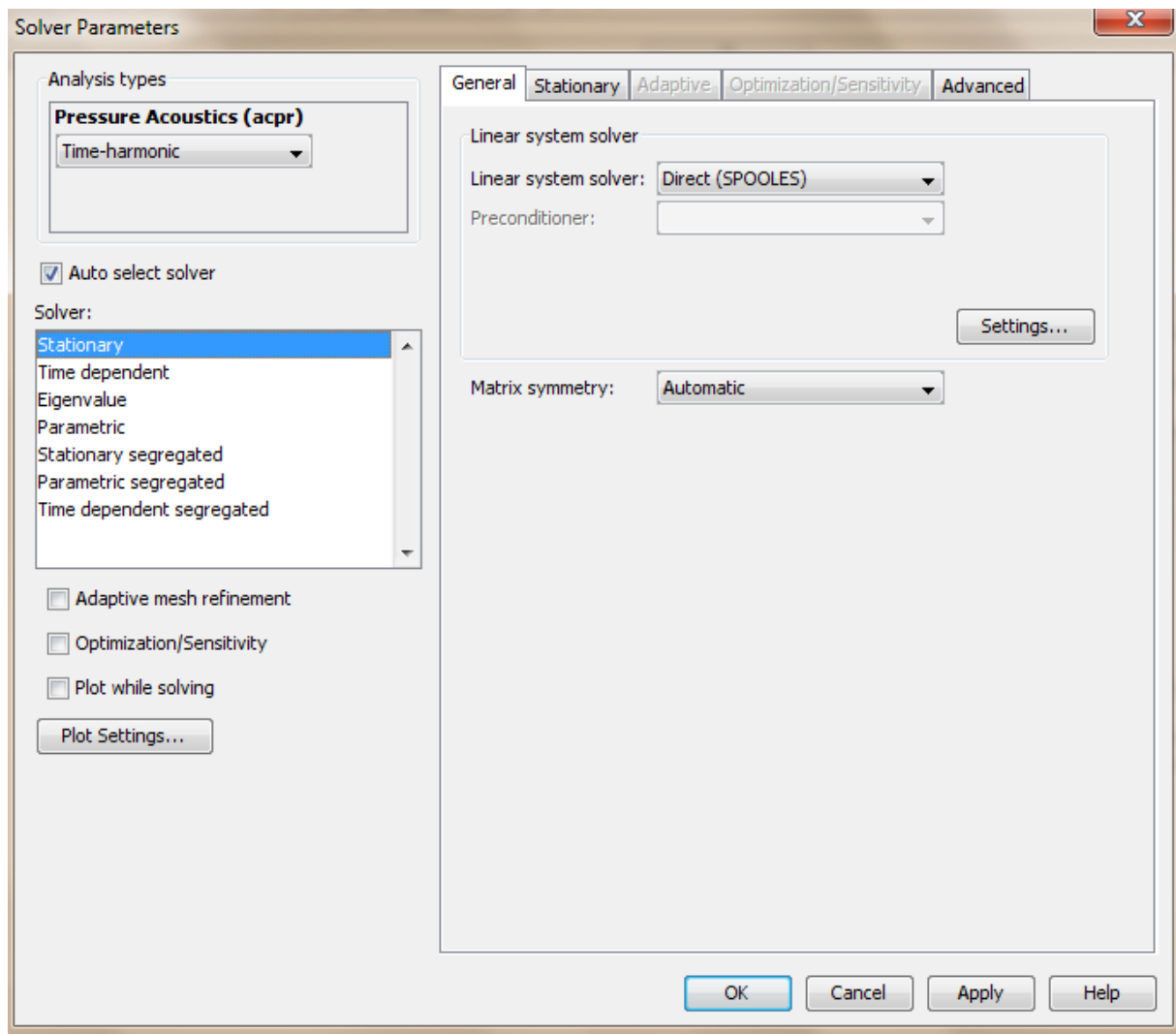
Nincs más dolgunk, mint elindítani a szimulációt. Hogy a szimuláció gyorsabban lefusson érdemes a térháló finomságát rontani. Természetesen ezzel a felbontás romlik, de legalább nem fog órákig számolni a számítógép (mivel most csak bemutatom a program működését, a pontosság nem lényeges). Ezt a Mesh – Free mesh parameters menüpontban tehetjük meg, ahol a Predefined mesh sizes listában az extremely coarse beállítást kell választanunk:



86. ábra

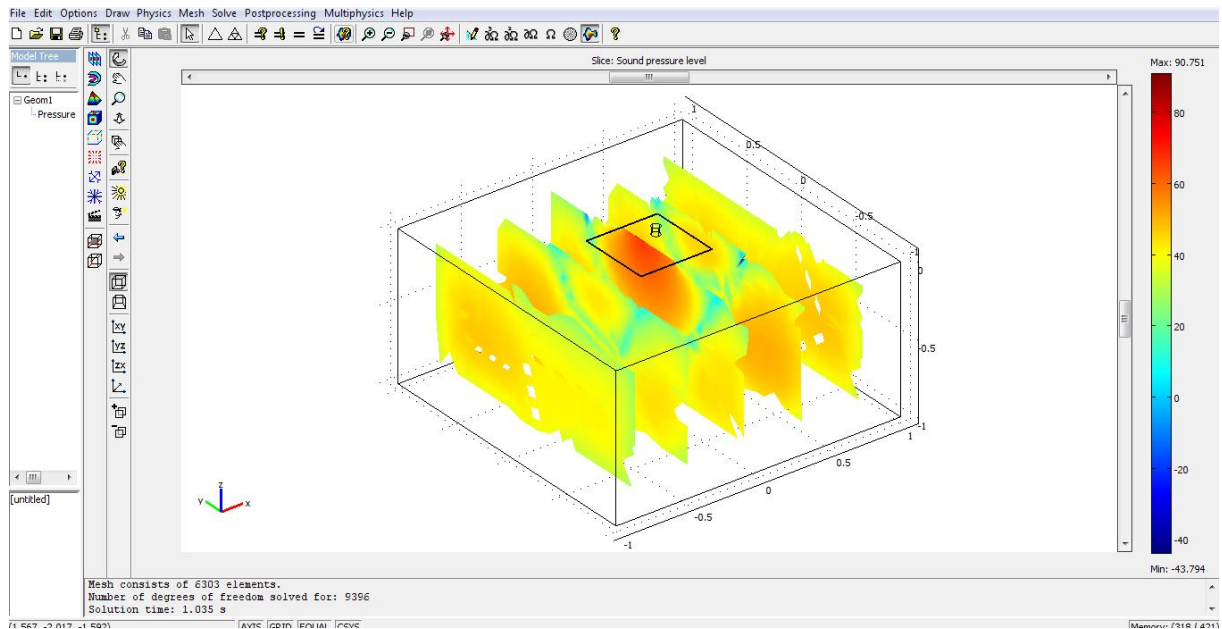
A futtatás előtt még szükséges egy beállítást kell alkalmaznunk:

A Solve – Solver Parameters menüben ki kell választanunk a stacionárius módot:



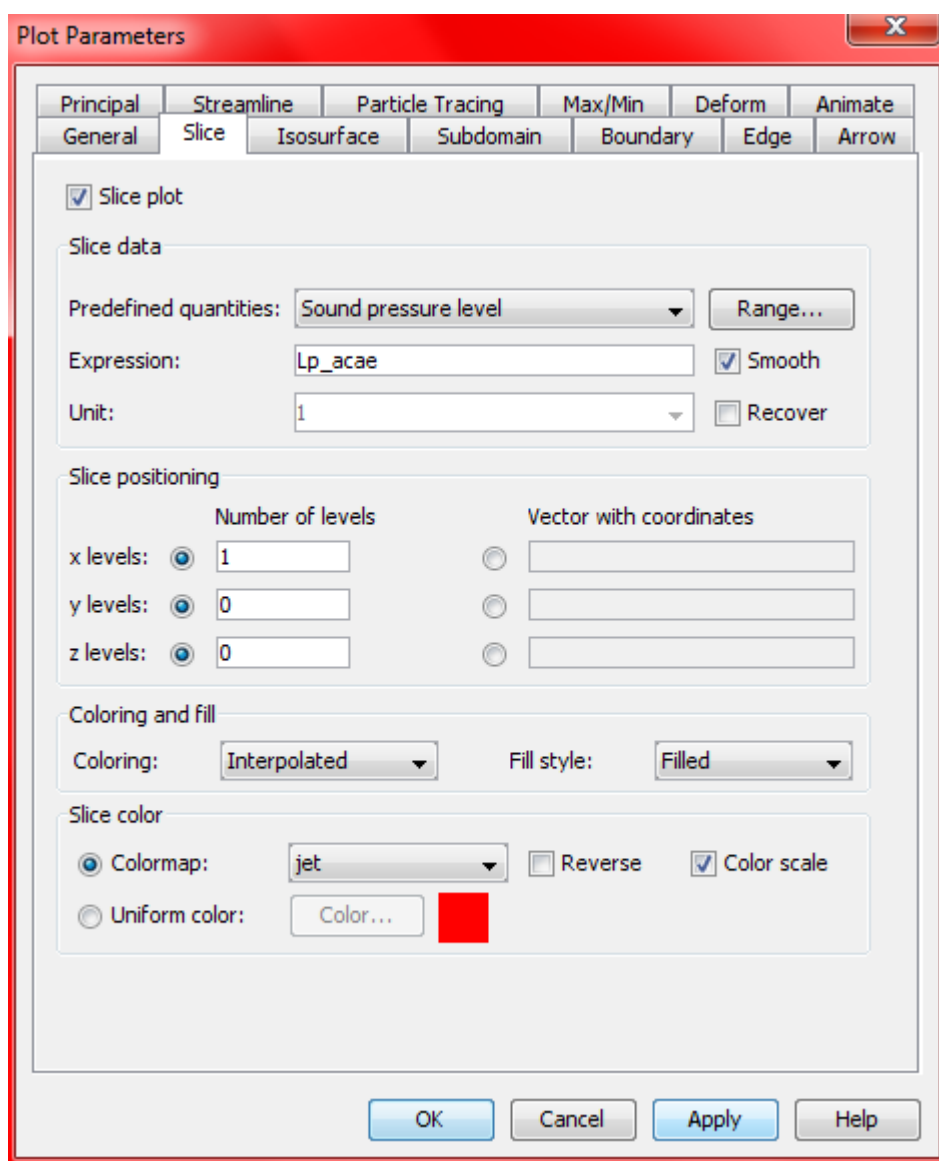
87. ábra

A szimuláció futtatása: Solve – Solve problem menüponttal lehetséges. Miután lefutott a szimuláció a következő képet látjuk:



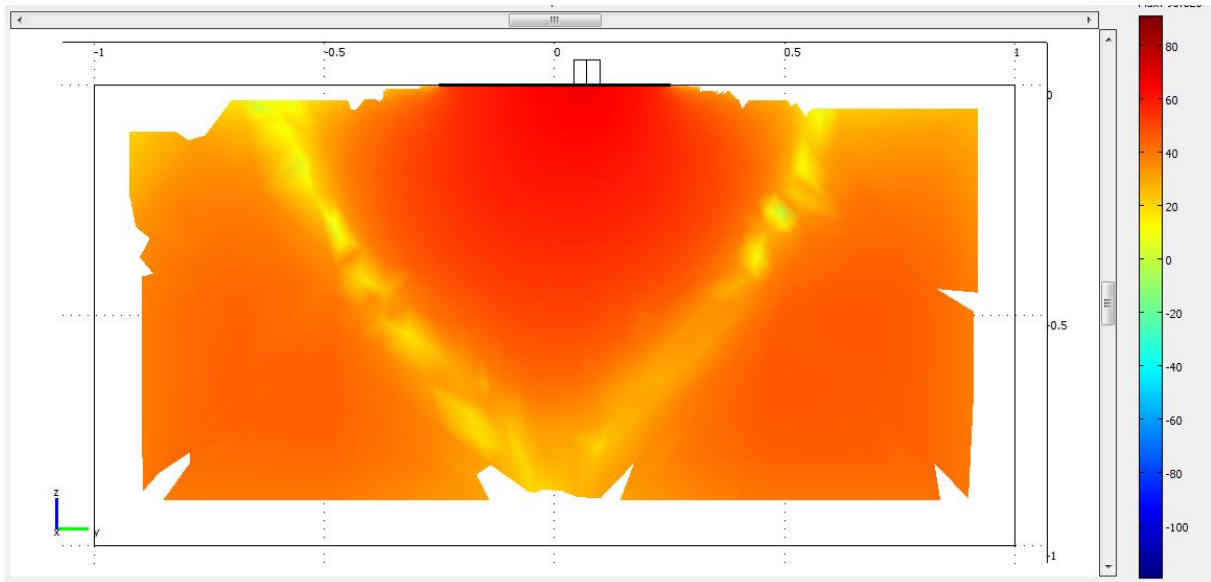
88. ábra

A Postprocessing – Plot parameters menüben különféle ábrázolási beállításokat adhatunk meg. Ha például minket az üveglapra merőleges síkban érdekel az iránykarakterisztika a következő beállításokat kell megadnunk:



89. ábra

Hangnyomásszintre vagyunk kíváncsiak, ezért kell kiválasztani a sound pressure level opciót. A slice positioning – x levels rublikába 1-t kell írunk, ekkor az y-z tengelyek által meghatározott síkon fogja mutatni a hangnyomást. Színezési beállításokat nekünk tetszőlegesen válasszuk ki, majd az OK megnyomása után a program megmutatja az iránykarakteristikát az üveglapra merőlegesen:



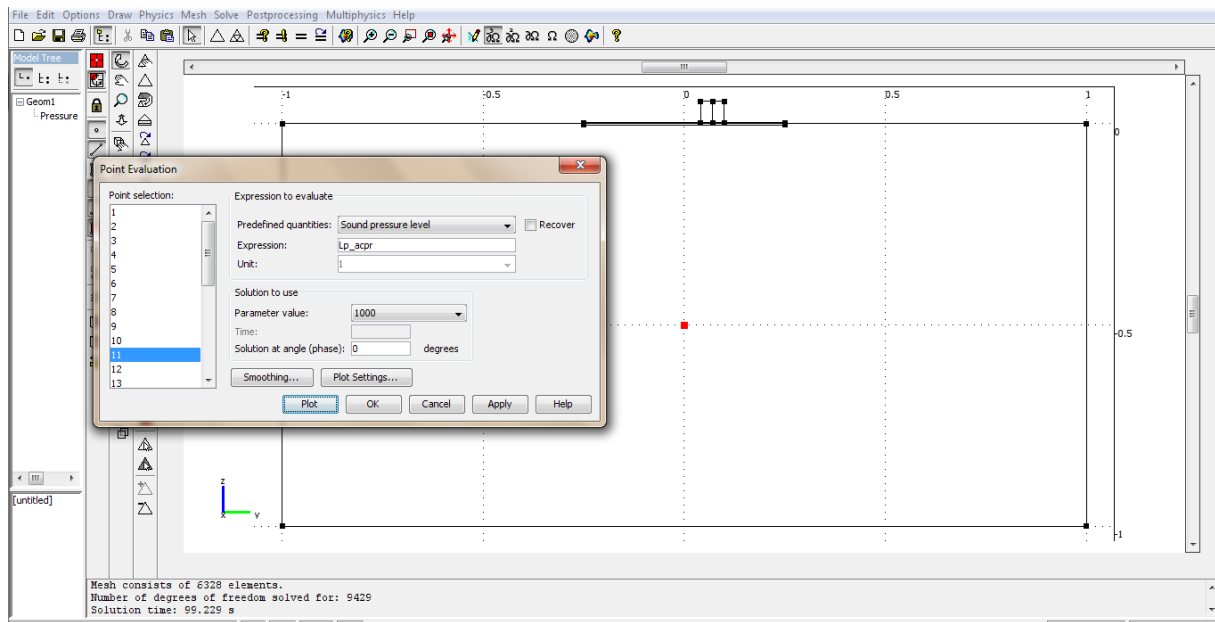
90. ábra

Látható, hogy az hangnyomásszint eloszlása meglehetősen egyenletes az egész térben. Ez várható volt, hiszen meglehetősen alacsony frekvenciát választottunk.

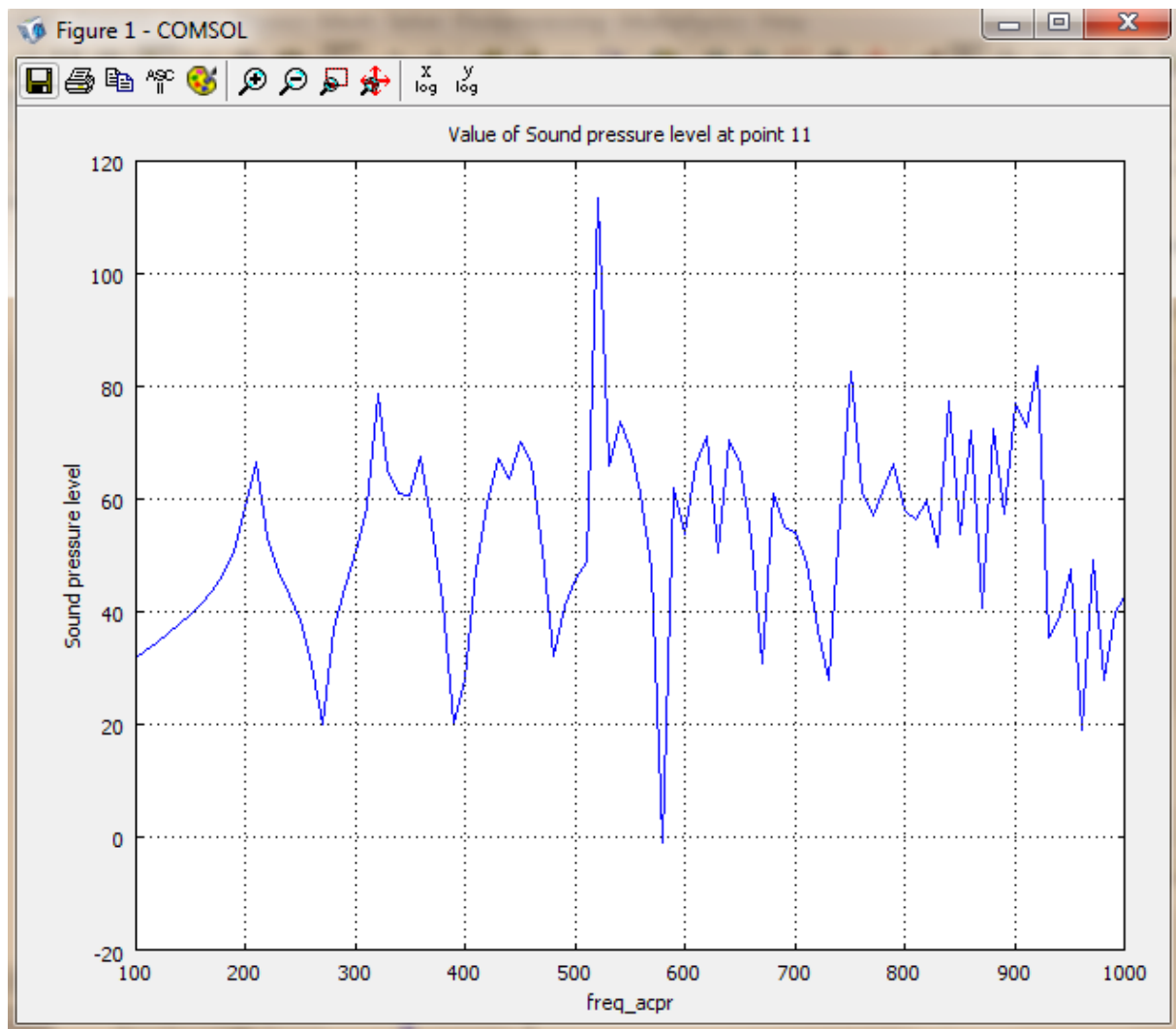
Ha átviteli függvényt szeretnénk vizsgálni, akkor a következő lépéseket kell megtenni:

A Solver parameters menüpontban a Parametric módot kell választanunk, megadni a paraméter nevét (freq_acpr) és az értékeit (pl.: 100-1000Hz-ig, 10Hz-enként: 100:10:1000). Draw -> Point menüben egy pontot kell rajzolni arra a helyre, ahol kíváncsiak vagyunk az átvitelre (pl.: $x=0$, $y=0$, $z=-0.5$). Majd futtatni kell a szimulációt (ez hosszabb ideig tart, mint a korábbi).

Amint lefutott a szimuláció a Postprocessing -> Point Evaluation menüben kiválasztjuk a korábban berajzolt pontot, beállítjuk, hogy hangnyomásszintet szeretnénk ábrázolni (Sound Pressure Level), és a Plot-ra kattintva megkapjuk a pontban az átviteli függvényt.

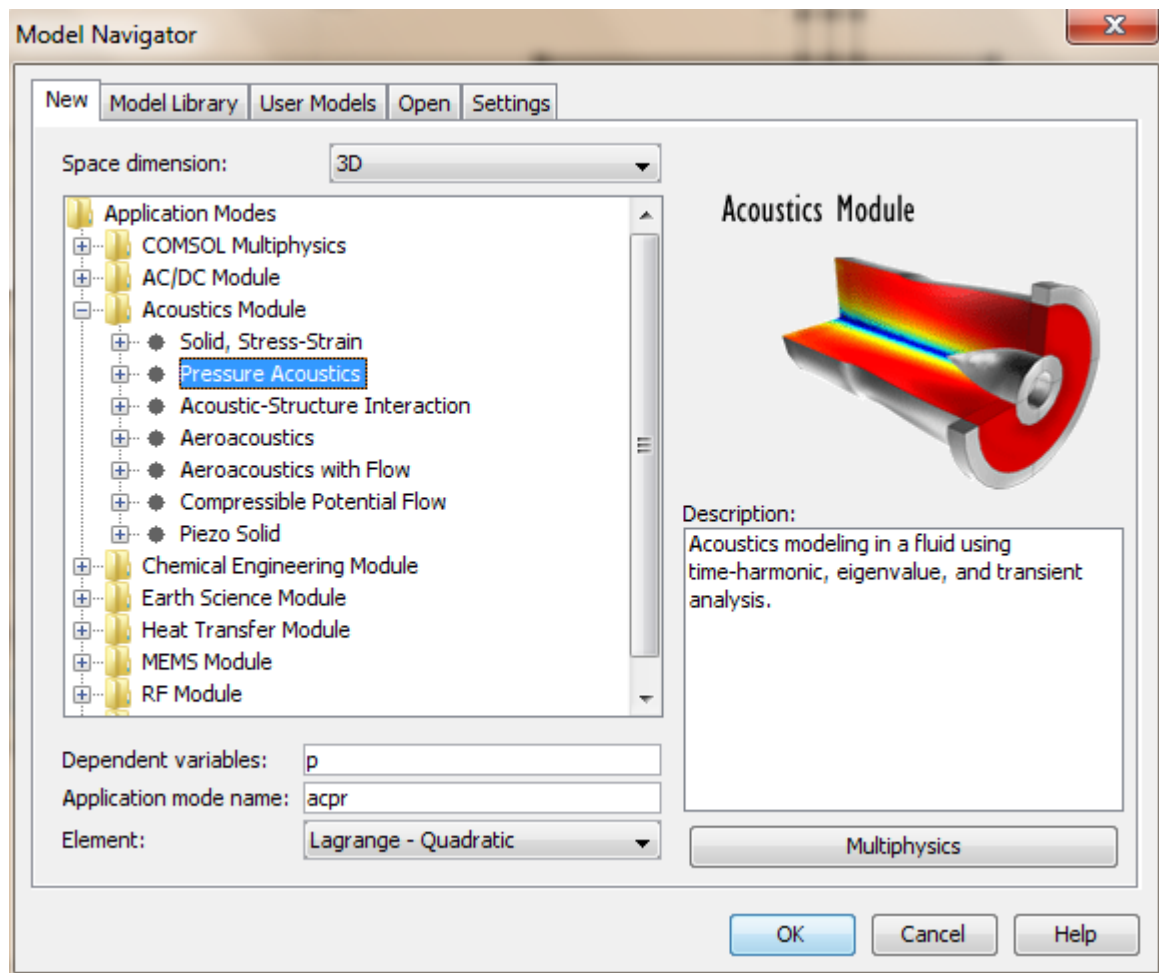


91. ábra



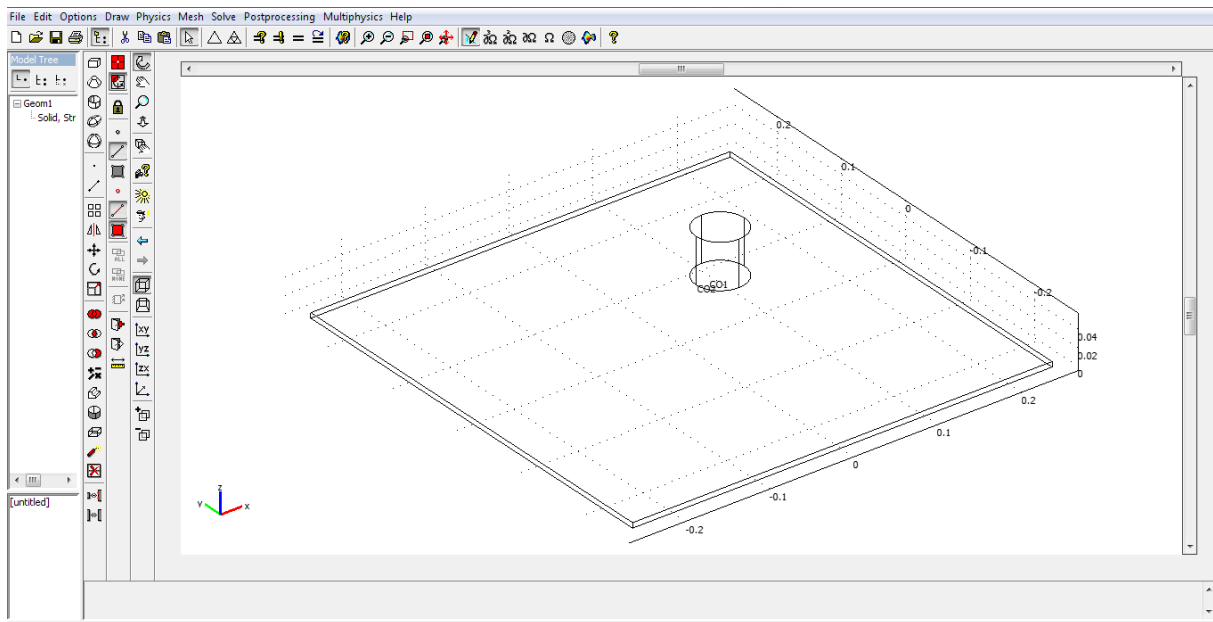
92. ábra

Amennyiben az üveglap rezgését szeretnénk vizsgálni, abban az esetben Pressure acoustics módban kell dolgoznunk:



93. ábra

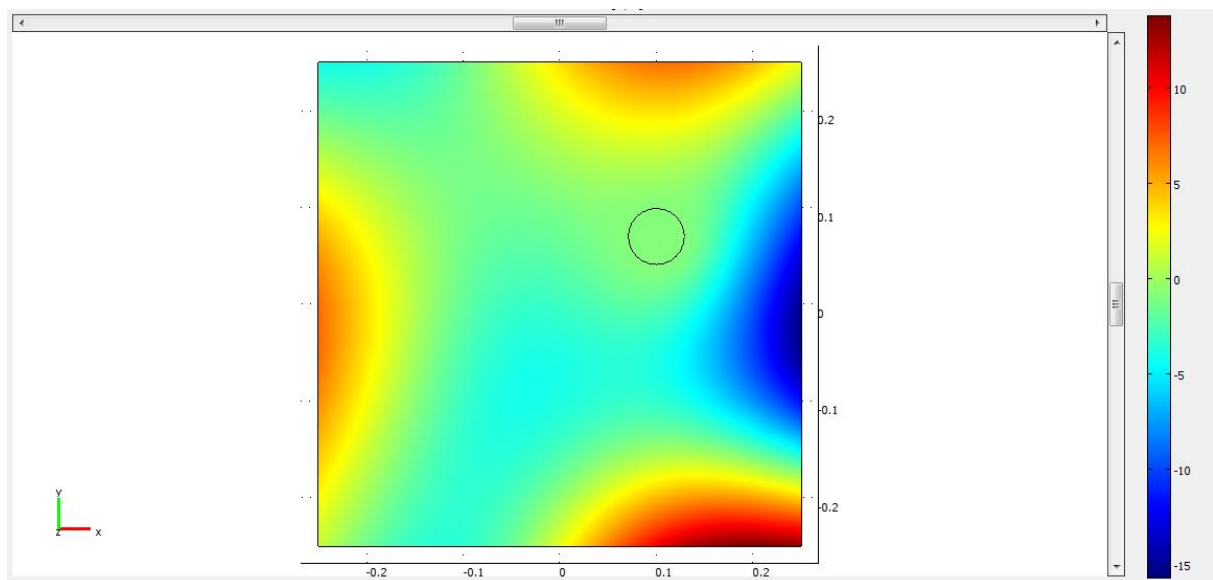
A beállítások a korábban leírtakhoz hasonlóan adhatók meg, néhány különbség azonban van. Nincs szükségünk például a tér megadására, hiszen a vizsgált terünk maga a berajzolt üveglap és rezgető.



94. ábra

Ebben az esetben a paraméterek neve eltérő lehet (pl.: frekvencia: `freq_acslid`).

A kialakult rezgésekép 300Hz-en pedig a következő:



95. ábra

2.sz. melléklet

Mérési jegyzőkönyv

SolidDrive SD1g típusú rezgető impedancia mérése

Mérés célja:

SolidDrive SD1g típusú rezgető impedanciájának meghatározása 1kHz-en.

A mérés során használt mérő és segédeszközök:

- Agilent 4294A LCR mérőműszer (ID-Nr: MX – 744)
- Agilent 16047E mérőbefogó (Leltári szám: TDK-EPC 111656)
- SolidDrive SD1g (DUT)

Mérési összeállítás, beállítások:

Mérőjel feszültsége: 100mV

$f_{\text{mérés}}$: 1kHz

Mért értékek: $|Z|$; θ

A befogó aranyozott, szorító csatlakozókkal kapcsolható össze a DUT-vel, tehát a mérés során a rezgető, és a saját kábelének impedanciáját mérjük <1% pontossággal.

Mérési eredmény:

$|Z| = 6,8 \text{ Ohm}$

$\theta = 6,55^\circ$

$Z = 6,8 * e^{j6,55^\circ} \text{ Ohm}$

Értékelés:

A DUT impedanciája a gyártó által megadott 8 Ohmtól jelentős mértékben nem tér el.

A mérést végezte:

Skripek Péter (P05RXR)

Szombathely, 2011-11-22