

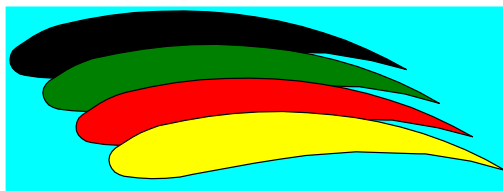


**MISKOLCI EGYETEM**  
**Gépészmérnöki és Informatikai Kar**  
Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék



# **EGYHENGES MOTOR SZÍVÓCSÖVÉNEK NYOMÁSHUL- LÁM VIZSGÁLATA HELMHOLTZ-REZONÁTOR JELENLÉTE MELLETT**

**TDK DOLGOZAT**  
Energetikai mérnök szak, Gépészeti szakirány



Készítette:

***TÓTH RÓBERT***  
Neptun kód: DQ33Y0

Miskolc – Egyetemváros

**2014**

## EREDETISÉGI NYILATKOZAT

Alulírott *Tóth Róbert*; Neptun kód: *DQ33Y0* a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának végzős energetikai mérnök szakos hallgatója ezennel büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában nyilatkozom és aláírással igazolom, hogy az *Egyhengeres motor szívócsövének nyomáshullám vizsgálata Helmholtz-rezonátor jelenléte mellett* című szakdolgozatom saját, önálló munkám; az abban hivatkozott szakirodalom felhasználása a forráskezelés szabályai szerint történt.

Tudomásul veszem, hogy szakdolgozat esetén plágiumnak számít:

- szó szerinti idézet közlése idézőjel és hivatkozás megjelölése nélkül;
- tartalmi idézet hivatkozás megjelölése nélkül;
- más publikált gondolatainak saját gondolatként való feltüntetése.

Alulírott kijelentem, hogy a plágium fogalmát megismertem, és tudomásul veszem, hogy plágium esetén szakdolgozatom visszautasításra kerül.

Miskolc,.....év .....hó .....nap

.....

Hallgató

## I. ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a dolgozatban az általam már korábban elméleti síkon tanulmányozott témában szeretnék gyakorlati eredményeket elérni. Ez a téma a belsőégésű motor szívócsövének nyomáshullám vizsgálata, annak teljesítményre felmerülő hatása különböző fordulatszámokon.

Hogy a nyomáshullámok jelentőségét bizonyítani tudjam, egy változtatható geometriájú Helmholtz-rezonátor segítségével megpróbálom felerősíteni azok hatását. A kísérleti berendezés tervezése és megépítése után a mérések által biztosított eredmények megmutatják majd a változtatások jelentőségét.

Bízom benne, hogy a kapott végeredmények az elvárásnak megfelelően pozitív hatásokat mutatnak majd ki, így indokolva a módszer részleteinek pontosabb kidolgozását és alkalmazását esetlegesen más motoroknál is.

## **II. SUMMARY**

In this paper I would like to take some experiences from the topic in which I have made studies about earlier. This topic is the examination of the pressure waves in the intake manifold of an internal combustion engine, and its effect on the moment on different revs.

To prove the magnitude of it, I would like to enhance the waves with a variable sized Helmholtz-resonator. After the planning and fabricating of the test device, the measuring will show us the effect of the changes.

I am ambitious about the results giving us the effects which are positive enough to improve this technology and may use it in other cases and engines.

# 1. TARTALOMJEGYZÉK

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 1. Tartalomjegyzék .....                                        | 1  |
| 2. Jelölések és indexek jegyzéke .....                          | 2  |
| 3. Bevezetés.....                                               | 3  |
| 4. Elméleti áttekintés.....                                     | 4  |
| 4.1. Mechanikai megközelítés .....                              | 4  |
| 4.2. A nyomáshullám akusztikai leírása .....                    | 6  |
| 5. Tervezés.....                                                | 8  |
| 5.1. Pontos méretek, számolás.....                              | 9  |
| 5.2. Tervezett és megvalósult berendezés .....                  | 12 |
| 6. Beépítés, alkalmazott mérőeszközök .....                     | 13 |
| 6.1. A felhasznált motor jellemzői, szívóoldal ismertetése..... | 13 |
| 6.2. Motorhoz alaphelyzetben felszerelt egységek.....           | 15 |
| 6.3. Általunk választott, specifikus mérőműszerek .....         | 16 |
| 7. Mérés.....                                                   | 19 |
| 7.1. A motorhoz tartozó alapadatokat szolgáltató mérés .....    | 20 |
| 7.2. A berendezésre szerelt szenzorok által végzett mérés.....  | 21 |
| 8. Mérési adatok kiértékelése.....                              | 22 |
| 8.1. Nyomatékmérés eredménye a Gunt mérőegységgel .....         | 22 |
| 8.2. Nyomásmérés eredményei a HBM mérőegységgel .....           | 26 |
| 9. Összegzés.....                                               | 30 |
| 10. Köszönetnyilvánítás .....                                   | 31 |
| 11. Irodalomjegyzék .....                                       | 32 |
| F1. Függelék.....                                               | 34 |
| F2. Függelék.....                                               | 35 |
| F3. Függelék.....                                               | 36 |
| F4. Függelék .....                                              | 37 |
| M1. melléklet.....                                              | 38 |

## 2. JELÖLÉSEK ÉS INDEXEK JEGYZÉKE

### Jelölések:

|   |                      |                      |
|---|----------------------|----------------------|
| c | [m/s]                | hangsebesség         |
| S | [m <sup>2</sup> ]    | keresztmetszet       |
| t | [s]                  | idő                  |
| m | [kg]                 | tömeg                |
| F | [N]                  | erő                  |
| V | [m <sup>3</sup> ]    | térfogat             |
| ρ | [kg/m <sup>3</sup> ] | sűrűség              |
| T | [K]                  | hőmérséklet          |
| f | [1/s]                | frekvencia           |
| n | [1/min]              | fordulatszám         |
| M | [Nm]                 | nyomaték             |
| R | [J/kgK]              | egyetemes gázállandó |
| κ | [-]                  | fajhőviszony         |

### Indexek:

|      |                                          |
|------|------------------------------------------|
| szcs | szívócsőre vonatkozó értékek             |
| mm   | a változó mm-ben vett értéke             |
| max  | egy változó maximális értéke             |
| mmps | paraméter mm/s mértékegységben kifejezve |

### 3. BEVEZETÉS

Ez a dolgozat az alapképzésben elsajátított tudás segítségével mutatja be az egy témakörben, projektmunka keretében elvégzett irodalomkutatást, tervezést, a mérés által kapott eredményeket és azoknak felhasználását.

A kutatás területe a belsőégésű motor, mint hőtechnikai gép vizsgálata teljesítménye szempontjából. Befolyásoló tényező a henger belsejében lezajló égési folyamat, amely kémiai energiaátalakulás során ad le mechanikai munkát, amit a motor hasznosítani tud. Ehhez az égéshez szükség van bizonyos mennyiségű oxigénre, amit levegő formájában juttatunk az égéstérbe. A szívócsövön keresztül bejutó levegő mennyiségét és bejutásának módját az ott gerjesztett nyomáslengések befolyásolják. Ezen hatások jelentőségének felderítése és leírása volt a cél.

A mérések elvégzéséhez szükség volt egy kísérleti berendezésre, ami biztosítja számunkra a megfelelő körülményeket a folyamatba való kívánt mértékű beavatkozásra. Ehhez egy állítható méretű rezonátort kellett tervezni, valamint elkészíteni.

A dob szívórendszerbe való beiktatása után felügyelni kellett a keresett jelenség leírására szolgáló nyomásértékeket. Ezt különböző pontokon elhelyezett szenzorok végezték. A mérőeszközök kiválasztásához figyelembe kellett venni a mért értékek tartományát, a mérendő helyen. Emellett szükség volt a mért adatok átalakítására és kezelésére, amit mérőkártya és megfelelő méréstechnikai szoftver biztosított.

A motor járása mellett leadott teljesítményt adott fordulatszámon egy, a motorral közvetlen kapcsolatban álló berendezés mutatta és jegyezte fel.

Ezen eredmények birtokában az adatok kiértékelése során láthatóvá válik a kísérletsorozat céljaként tekintett működési jellemzők változása.

#### 4. ELMÉLETI ÁTTEKINTÉS

A dolgozatban vizsgált terület megfigyelésére a motor működésének a periodikus működése miatt van szükség, hiszen az égéshez minden ciklusban biztosítani kell a szükséges friss levegőt, majd az oxidáció után eltávolítani az elhasználtat, ezt hívjuk a motor töltetcserejének.

A feltöltés minőségét a töltési fok jellemzi, aminek mértékét minden olyan eljárással növelhetjük, ami a beszívott friss levegő nyomását növeli, hőmérsékletét csökkenti.

A töltési fok képlete [1]:

$$\lambda = \frac{m}{V_L \cdot \rho_0}, \quad (4.1)$$

ahol:  $m$  – a beszívott friss levegő tömege,

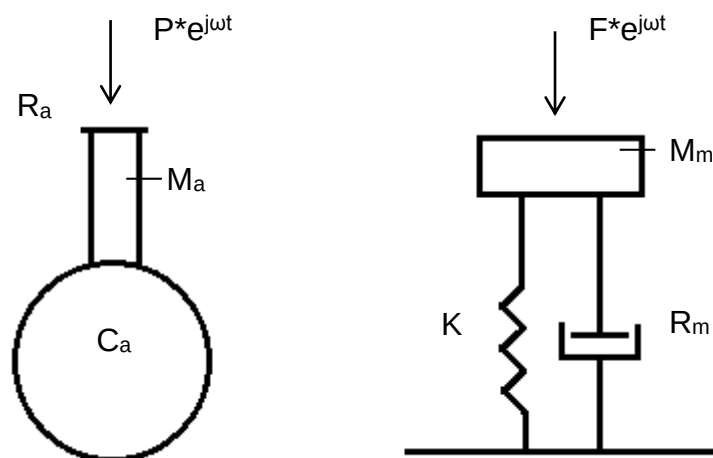
$V_L$  – lökettérfogat,

$\rho_0$  – levegő sűrűsége környezeti nyomáson.

A nyomás és a beszívott levegő mennyiségének növelésére az átfedési időszakban és a szívószelep záródásakor létrejövő dinamikus nyomásváltozást használjuk fel. Ezt a szívócső és egy Helmholtz-rezonátor segítségével úgy tudjuk beállítani, hogy a nyomásváltozások okozta hullám éppen a jó időben és a lehető legnagyobb amplitúdóval tudja segíteni a feltöltést [2].

##### 4.1. Mechanikai megközelítés

A rezonátor hangolásakor segítséget nyújt az analógia, amiben a csövekben mozgó légmennyiségeket a mechanikai tömeghez, a tágasabb térfogatokban lévőket pedig rugóhoz hasonlítjuk. Ez utóbbi összehasonlítást a 4.1. ábra szemlélteti.



4.1. ábra akusztikai és mechanikai rendszer analógiája

Akusztikai rendszer:

$C_a$  - akusztikai tér jellemzője

$P$  - nyomás a nyak nyitott részén

$M_a$  - a rezonátor akusztikai tömege

$R_a$  - akusztikai ellenállás

Mechanikai rendszer:

$K$  - rugóállandó

$F$  -  $y$  irányú erő

$M_m$  - mechanikai tömeg

$R_m$  - mechanikai ellenállás

Az akusztikai rendszer impedanciájából kifejezhető a rezonátor saját frekvenciája. Ha a képzetes részt egyenlővé tesszük nullával (ekkor a legkisebb az ellenállás), az egyenletet rendezve megkapjuk a frekvencia értéket.

Egy rezonátor akusztikai impedanciája:

$$\hat{Z}_{mres} = \left( R_v + \frac{\rho \cdot c \cdot k^2 \cdot S^2}{2 \cdot \pi} \right) + j \cdot \left( \omega \cdot \rho \cdot L \cdot S - \frac{\rho \cdot c^2 \cdot S^2}{\omega \cdot V} \right), \quad (4.2)$$

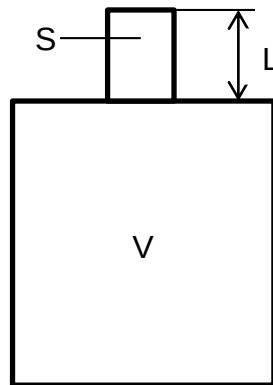
ahol:  $R_v$  – viszkozitásból adódó veszteség

$k$  – hullámok száma

Rezonátor saját frekvenciája:

$$\omega_0 = c \cdot \sqrt{\frac{S}{L \cdot V}}. \quad (4.3)$$

A (4.2) és (4.3) képletekben szereplő paramétereket a 4.2. ábra szemlélteti.



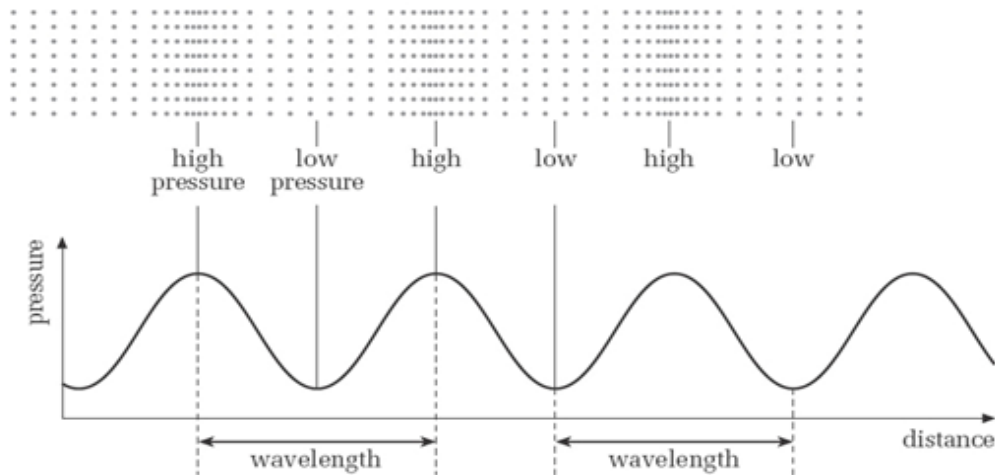
4.2. ábra egyszerű felépítésű  
Helmholtz- rezonátor

A motort tekintve a henger és a szívócső egy hasonló egységet alkot, ahol a rezonátor dob nagyságát a mozgó henger lökettérfogatának felével helyettesítjük. Ha viszont a szívócsőre épített nagy térfogatú dobbal egészítjük ki a rendszert, a két elem által gerjesztett hullámok egységes elemzésére további vizsgálatok szükségeltetnek [3], [4].

## 4.2. A nyomáshullám akusztikai leírása

A jelenség alapfeltételeit és keletkezésének módját a múlt félév során kidolgoztam, ezeket ismertnek tekintem [1]. A számolás és a kísérlet szempontjából fontosnak tartom viszont a hullám terjedésének leírását a rendszer hangolása okán.

A hullám előrehaladását a nyomás kisebb és nagyobb értékeinek időben való változása okozza, amely így, egy hangsebességgel terjedő longitudinális hullámot hoz létre. A hullámot a 4.3. ábra mutatja, terjedési sebességét a (4.4) egyenlet írja le.



4.3. ábra kialakult nyomáshullámok egyszerűsített képe<sup>1</sup>

Hangsebesség légnemű közegben:

$$c = \sqrt{\kappa \cdot R \cdot T}. \quad (4.4)$$

A szívócső tervezése előtt érdemes figyelmet szánni azokra az esetekre, amikor a nyomáshullám fallal illetve nyitott térrel találkozik, hiszen nyitott tér esetén az amplitúdója invertálódik. A depresszióhullám okozta vákuum pedig éppen az ellentétes hatást érné el, mint amire nekünk szükségünk van.

A terjedés vizsgálva, a sebesség majd nyomásváltozással leírva megkapjuk az előző fejezetben is látott Helmholtz-rezonátor képletét, amivel előáll a frekvencia, ami a szívócső és a henger egységének hullámát jellemzi.

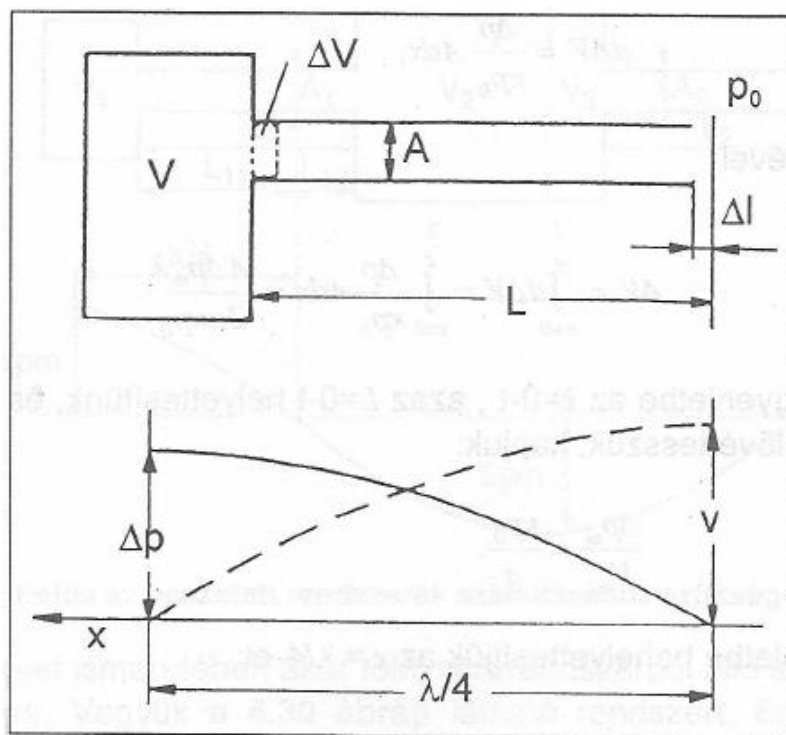
A sebességet (4.5) és a nyomást (4.6) leíró egyenletek és azt szemléltető 4.4. ábra:

$$\Delta p(x, t) = \Delta p_{max} \cdot \sin 2\pi \frac{x}{\lambda} \cdot \sin 2\pi \frac{c}{\lambda} \cdot t \quad (4.5)$$

$$\Delta v(x, t) = v_{max} \cdot \sin 2\pi \frac{x}{\lambda} \cdot \sin 2\pi \frac{c}{\lambda} \cdot t \quad (4.6)$$

<sup>1</sup> forrás:

[http://dsp.space.jorum.ac.uk/xmlui/bitstream/handle/10949/1036/Items/TA212\\_1\\_section9.html](http://dsp.space.jorum.ac.uk/xmlui/bitstream/handle/10949/1036/Items/TA212_1_section9.html)



4.4. ábra nyomás- és sebesség változás mindkét végén nyitott csőben<sup>2</sup>

A levezetés után kapott rezonancia frekvencia:

$$f = \frac{c}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{S}{L \cdot V}} \quad (4.7)$$

Viszont a kísérleti berendezés beépítésével ez a hullám megváltozik. A vizsgálat alatt azt a tartományt kerestem, ahol a két rezonátornak tekinthető elemből álló rendszer olyan egyensúlyba kerül, hogy egymás hatását erősíteni tudják. A tervezésben ezt olyan esetben feltételeztem, amikor a két hullám frekvenciája közel azonos vagy az egyik frekvencia egész számú többszöröse a másiknak. Ez szorosan kapcsolódik a motor fordulatszámától függő gerjesztéssel [5].

A mérésorozat alatt célom, hogy kiderítsem, a kísérlet során mikor valósul meg ez az erősítés és mik a kialakulásának körülményei.

<sup>2</sup> forrás: Kalmár István, Stukovszky Zsolt: Belsőégésű motorok folyamatai, Műegyetemi Kiadó, 1998, (ISBN 963 420 565 8)

## 5. TERVEZÉS

Az elmélet alátámasztására szolgáló vizsgálathoz szükség volt egy, a szívócsővel közvetlen kapcsolatban álló rezonátor dobra, ami a kívánt hatásokat idézi elő az elképzeltnek megfelelő módon. A motor ismerete mellett különböző szempontokat figyelembe véve kellett megtervezni a Helmholtz-rezonátor méreteit, elhelyezését, kialakítását és a mérési lehetőségeket. Ez már a legelső felvetésre rengeteg kérdést vet fel, amik helyes megválaszolása esetén is biztos lesz olyan tényező, ami figyelmen kívül marad.

Az már a kezdeteknél biztos volt, hogy a megfelelő karakterisztika eléréséhez változtatható méretű berendezésre van szükség. Ha megnézzük a Helmholtz-rezonátor rezonanciafrekvenciájának képletét, akkor 3 változót találunk, ami hatással van a méretre. Ezek a rezonátor dob belső térfogata, a nyakának hossza és a keresztmetszete. A méretek közül a legnagyobb mértékű változtatásokat a dob térfogatának változtatásával érhetjük el. A kialakításának ötletével még az elméleti kutakodás alatt találkoztam, ahol is egy hangszer működését tárgyalták hasonlóan akusztikai rezgéseken alapuló szemléletmódban. A rezonátor egy hengeres testből és két, az alaplapokat összekötő lapból áll, amelyek behatárolnak egy bizonyos méretű térfogatot. A két lap közül az egyik rögzítve a falhoz, a másik a tengellyel együtt elforgatható, így növelve, vagy csökkentve a körcikk alapú hasáb térfogatát. A szívócsőbe csatlakozó nyak nyílása értelemszerűen az álló lap mellett helyezkedik el, így marad a legnagyobb méretváltoztatási lehetőség. A mérés pontosságának növelésére a mozgó lap és a henger belső fala közötti rést, a laphoz erősített szilikon csíkokkal tömítettem, ami a mozgatás után sem veszíti el a szigetelő tulajdonságát. Amikor a rezonátorokat tanulmányoztam, több féle elrendezést ismertem meg, köztük a két lehetőség, amikor a dob a szívócső mentén van elhelyezve, és amikor a szívócsőről leágazva külön egységként szerepel. Számítási és kivitelezési szempontból is egyszerűbbnek tűnt a második megoldás, így a rezonátort oldalsó elrendezésben képzeltem el.

Az anyaghasználatnál törekedni kellett arra, hogy a berendezés könnyedén rögzíthető és alakítható legyen, illetve, hogy a motor működése során ne kerüljön rezgésbe. Ekkor ugyanis befolyásolná a rezonátor működését és ezzel a kapott eredmények valósághűségét. A megvalósításnál a rezonátor dob és a benne lévő lemezek acélból lettek kialakítva, a hengert ebonitból esztergált alaplapok határolják. A

kisebb átmérőjű csőelemek egyszerű PVC csövek lettek, így a motor szívócsoncjára és a légszűrőre is könnyen fel lehetett helyezni.

A térfogatváltozásért felelős fémlemez mozgatása miatt felmerül a forgatás megvalósításának a kérdése. Erre is több lehetőség adódott. Elsőként a három lehetséges opció merült fel, miszerint egyszerűen csapágyakkal felszerelve bizonyos szögű rögzítési lehetőséggel, valamilyen mechanikus kapcsolat segítségével vagy elektronikus úton (pl.: léptetőmotorral) forgatni a tengelyt, beállítva a kívánt térfogatot. Számomra a költséghatékonyság, az egyszerűség és a könnyű kezelés miatt a mechanikus kapcsolat tűnt a legmegfelelőbbnek. A forgatást végül egy alumínium fogaskerék segítségével oldódott meg. A fogaskerék a tengelyhez rögzítve tudja azt elmozgatni, az elmozdulás mértéke kívülről is jól látszik, a kerék fogai között lévő rések pedig tökéletesek a beállítás rögzítésére.

### **5.1. Pontos méretek, számolás**

A szerkezet geometriájának kialakításakor fontos szempont volt, hogy minden elem méretét pontosan számon lehessen követni. Így, ha a megbecsült fordulatszámtól eltérő helyen lép fel a várt eredmény, akkor a méreteket ismeretében a megfelelő következtetéseket lehet levonni, ezután pedig tudatos változtatás hajtható végre.

A számításokat MathCAD program segítségével oldottam meg, így bármilyen változás esetén csak a szükséges változót kell átírni és megkapjuk a módosult eredményeket. A számolásnál használt adatokat a leendő mérés körülményeihez igazítottam. Így választottam a hőmérsékletet 20 C°-ra ami a műhelycsarnok tágas térfogata miatt indokolt volt. A „k” és a gázállandó a levegő miatt adott. Ezáltal, ha a motor működését 2500 1/perc fordulatszámra vizsgáljuk, a szívószelep zárási fokát figyelembe véve, megkapjuk azt az időt, amíg a szelep a hullám keletkezése után zárva marad. Ezt az időt felhasználva a hanghullám levegő közegben történő terjedési sebességével megszorozva megkapjuk az utat, amit megtéve a hullámnak a nyíló szelephez kell, hogy érjen. A szívócső hossza tehát ehhez igazodik. A beállítás szerint a hullám tizenhatszor halad végig a csövön, mire eléri a hengert és kifejti hatását. A térfogata az építés során használt PVC cső belső átmérője (29,5 mm) miatt adódik. Mivel a hullám minél nagyobb erősítése volt a cél a rezonátor térfogatát jóval nagyobbra választottam, mint a szívócsőé, jelen esetben a négyszerese.

Ebben az esetben az acél hengeres elem kötött átmérője miatt adódik a dob magassága (h). A nyak rész belső keresztmetszetét a használt PVC cső belső átmérőjéből kényszerűen fennáll, a hosszát ezen átmérő négyszeresére választottam a későbbi rezonancia frekvencia befolyásolása okán. Ez a frekvencia érték így megközelítőleg többszöröse a gerjesztett hullám frekvenciájának, tehát a rezonátornak erősítenie kell a keresett hullám amplitúdóit. A számolás menetét a MathCAD programból kimásolt egyenletek mutatják.

Szívócsőben létrejövő hullám jellemzői:

$$T := 20 + 273 \quad \text{K} \quad (5.1)$$

$$\kappa := 1.4$$

$$R := 287.1 \quad \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$c := \sqrt{\kappa \cdot R \cdot T} \quad c = 343.174 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (5.2)$$

$$n := 2500 \quad \frac{1}{\text{min}}$$

$$f := \frac{n}{60} \quad f = 41.667 \quad \frac{1}{\text{s}} \quad (5.3)$$

$$\text{zarasifok} := 470$$

$$t := \frac{1}{f} \cdot \frac{\text{zarasifok}}{360} \quad t = 0.031 \quad \text{s} \quad (5.4)$$

Szívócső méretei a hullám paramétereinek függvényében:

$$\pi = 3.142$$

$$\text{dszcs} := 29.5 \quad \text{mm}$$

$$\text{lszcs} := \frac{c \cdot t}{(4 \cdot 4)} \cdot 1000 \quad \text{lszcs} = 672.049 \quad \text{mm} \quad (5.5)$$

$$V_{\text{szcs}} := \left( \frac{\text{dszcs}}{2} \right)^2 \cdot \pi \cdot \text{lszcs} \quad V_{\text{szcs}} = 4.593 \times 10^5 \quad \text{mm}^3 \quad (5.6)$$

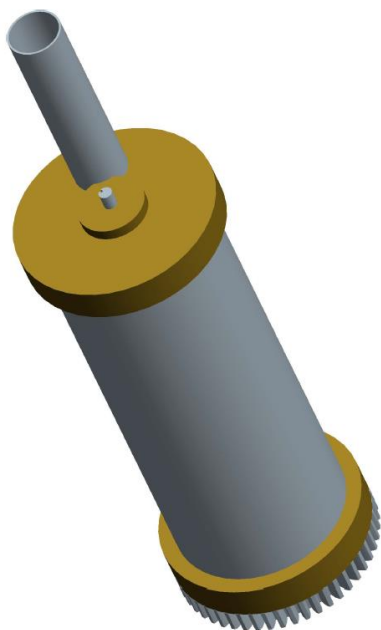
Helmholtz-rezonátor jellemzésére szolgáló mennyiségek és az általuk meghatározott rezonancia frekvencia:

$$\begin{aligned}
 \underline{V} &:= V_{\text{szcs}} \cdot 4 \quad \text{mm}^3 & V &= 1.837 \times 10^6 \quad \text{mm}^3 \\
 D &:= 97 \quad \text{mm} \\
 h &:= 1 \\
 \text{Given} \\
 V &= \left( \frac{D}{2} \right)^2 \cdot \pi \cdot h - \left( 2 \cdot 4 \cdot 45 \cdot h + 4^2 \cdot \pi \right) \\
 \underline{h} &:= \text{Find}(h) & h &= 261.374 \quad \text{mm} \\
 d &:= d_{\text{szcs}} & d &= 29.5 \quad \text{mm} \\
 \underline{S} &:= \left( \frac{d}{2} \right)^2 \cdot \pi & S &= 683.493 \quad \text{mm}^2 & (5.7) \\
 L_{\text{mm}} &:= d \cdot 4 \quad \text{mm} & L_{\text{mm}} &= 118 \quad \text{mm} \\
 c_{\text{mmps}} &:= c \cdot 1000 & c_{\text{mmps}} &= 3.432 \times 10^5 \quad \frac{\text{mm}}{\text{s}} \\
 \underline{f} &:= \frac{c_{\text{mmps}}}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{S}{V \cdot L_{\text{mm}}}} & f &= 96.976 \quad \frac{1}{\text{s}} & (5.8)
 \end{aligned}$$

A MathCAD programból beillesztett számításokat a kísérlet folyamán mindig az aktuális adatokkal frissítettem.

## 5.2. Tervezett és megvalósult berendezés

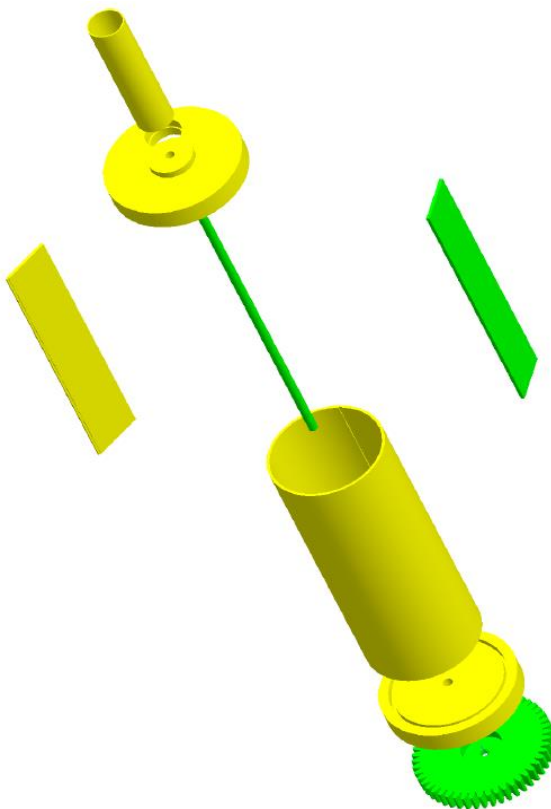
A képeken látható a kiszámolt adatokat megtestesítő kísérleti berendezés (5.2. ábra) valamint annak 3D-s modellje (5.1. és 5.3. ábra), melynek elkészítési fázisait a mellékletben elhelyezett további képek szemléltetik.



5.1. ábra terv Pro Engineer programmal



5.2. ábra az elkészült rezonátor



5.3. ábra a szerkezet robbantott képe, az álló és mozgó részek feltüntetésével

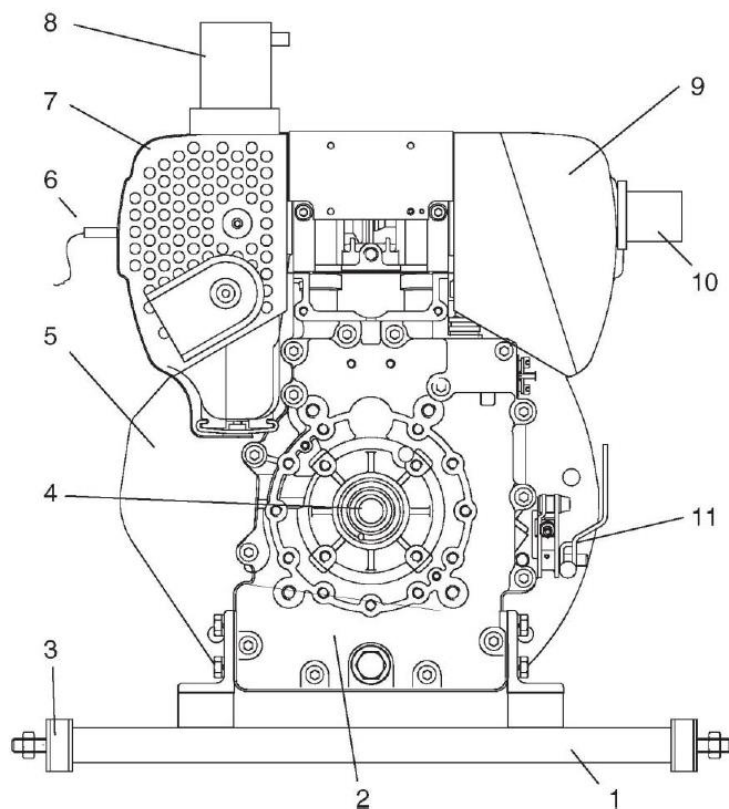
## 6. BEÉPÍTÉS, ALKALMAZOTT MÉRŐESZKÖZÖK

### 6.1. *A felhasznált motor jellemzői, szívóoldal ismertetése*

A motor, aminek a szívóoldalát vizsgáltam egy Hatz gyártmányú egyhengeres, négyütemű diesel motor. Lökettérfogata  $243 \text{ cm}^3$ , maximális fordulatszáma 3000 1/min, névleges teljesítménye 3,1 kW. A hengerben meggyújtott közeg levegő és gázolaj keveréke, melyek égéstérbe jutását és távozását a szívó és kipufogószelep szabályozza. A szelepeket és a befecskendezést ebben a motorban ugyanaz a bűtyök vezérli. Az üzemanyag injektoros befecskendezése lehetővé teszi, hogy a levegő zavartalan beáramlását vizsgáljuk. A benzines motoroknál általánosan használt karburátoros megoldásnál az áramlás összetettebb, hiszen ekkor a hozzáadott térfogat keverék-homogenizáló hatását is figyelembe kéne venni [6]. A motorhoz ékszíjon keresztül kapcsolódik egy ellenáramú Gunt Hamburg márkájú fékgép és a hozzá tartozó mérőegység, ennek segítségével állítható a motor fordulatszáma és nyomatéka. Az egyik érték állandó szinten tartása mellett a másikat a motor oldalán elhelyezkedő gázkar segítségével változtathatjuk. A kipufogógáz elvezetéséről egy radiál ventilátor gondoskodik. A légszűrő közvetlenül a henger előtt helyezkedett el, ezzel meggátolva a vizsgálat sikeres lebonyolítását. Ennek elkerülésére, onnan eltávolítva, a kísérlet szempontjából megfelelő helyre, a szívóoldal lezárásaként a cső végén került felszerelésre, egy azt körülvevő nagy térfogatú dobbal együtt. A hengeres egység csakis arra szolgál, hogy összeköttetés legyen az eredetileg felszerelt térfogatáram mérő elemmel és emellett ne gátolja a levegő beáramlását.

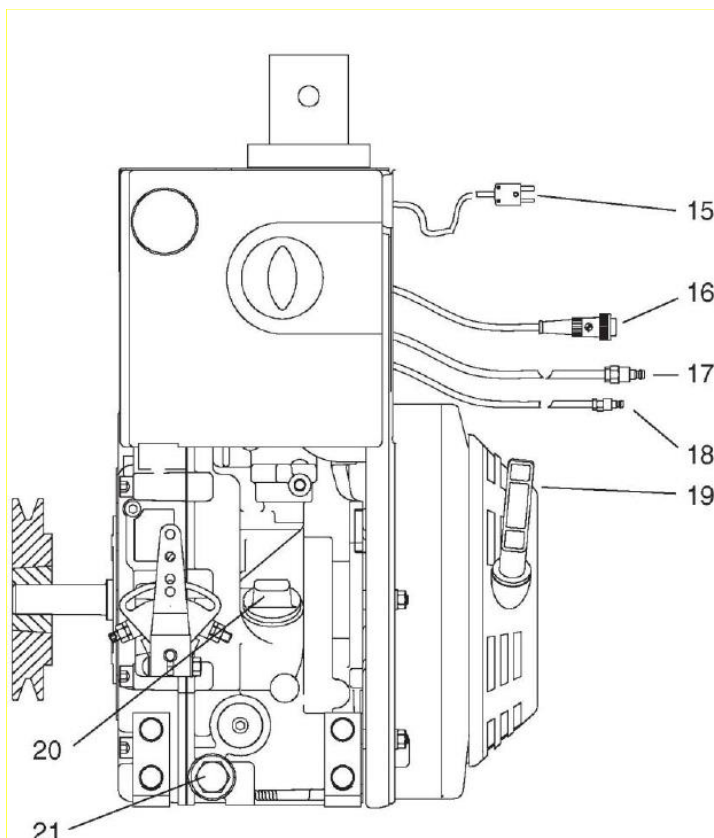
Ebbe az egységbe kellett szerelni az elkészült szívócsövet. A beépítés során kialakultak a valós méretek, amelyek segítségével meg lehet állapítani a geometriát, amit később a mérés alatt majd használni kell. Ez kisebb változások miatt különbözik a tervezés fejezetben számolttal. A későbbiekben természetesen ezt figyelembe véve folytattam a kísérletet és ennek megfelelően alakítottam át a meglévő egyenleteket. A rezonátor dob, forgatás során felmerülő legkisebb és legnagyobb térfogatát is így kaptam meg a végállási szögek meghatározás után. A henger alaplapját képező elem palástjára pedig egy skála került, a köztes értékek feltüntetésére. A szívócsövek kapcsolatainál figyelni kellett a pontos illesztésekre, az alátámasztásnál pedig a minél kisebb rezgésből adódó elmozdulás volt a cél.

A kiinduláskor rendelkezésre álló 1 hengeres motor rajzát és az azt alkotó részegységeket szemlélteti a 6.1. és a 6.2. ábra.



- 1- alaplemez
- 2- forgattyúház
- 3- rezgéscsillapító
- 4- főtengety
- 5- lendkerék borítólemez
- 6- kipufogógáz hőmérő
- 7- kipufogócső borítás
- 8- kipufogócső csatlakozó
- 9- levegőszűrő ház
- 10- levegő csatlakozó
- 11- sebesség szabályozó

6.1. ábra Hatz motor felépítése<sup>4</sup>



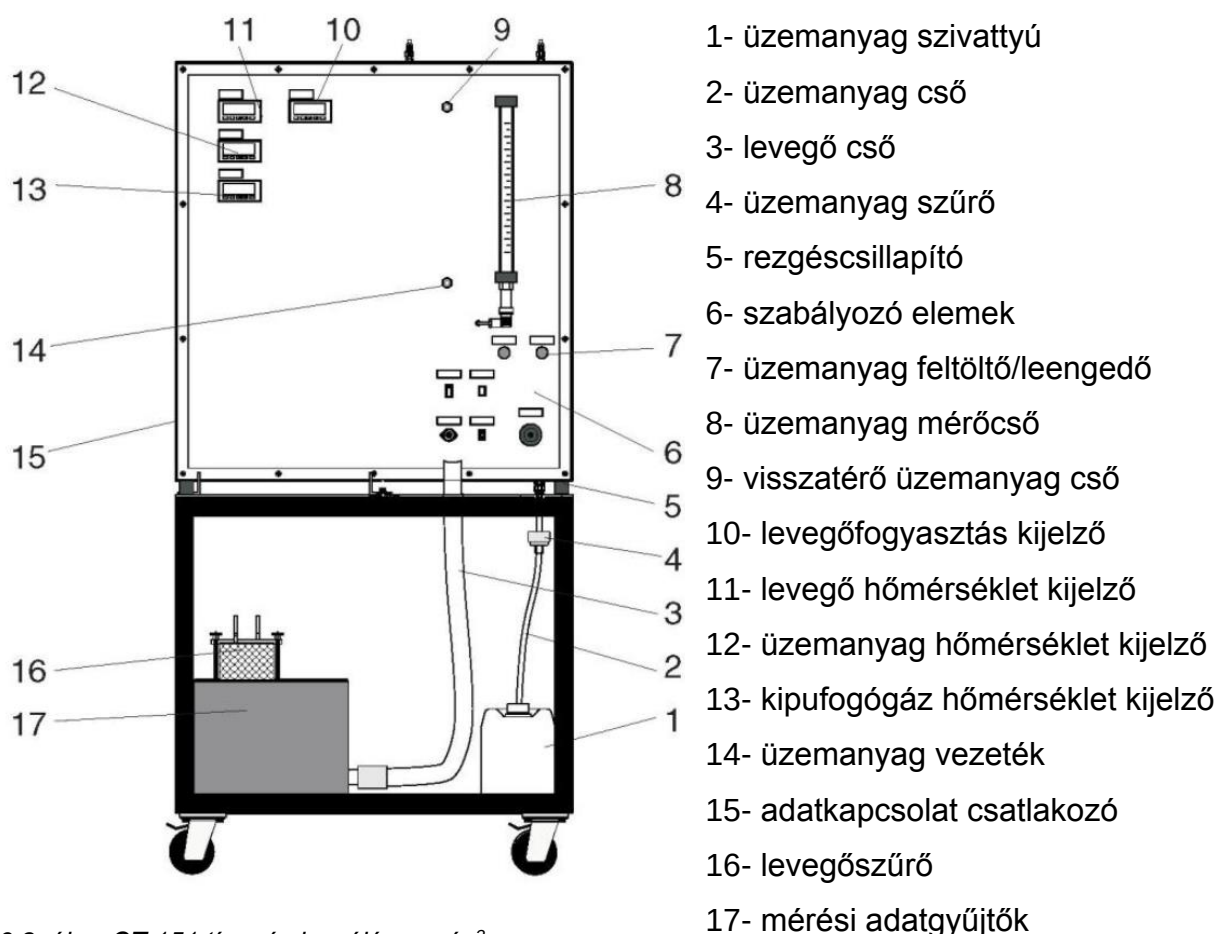
- 15- hőmérő
- 16- elektromos csatlakozó
- 17- üzemanyag vezeték
- 18- visszatérő üzemanyag vezeték
- 19- kézi behúzó
- 20- olajbetöltő nyílás
- 21- olaj leeresztő csavar

6.2. ábra a motor felépítése oldalnézeti képen<sup>4</sup>

## 6.2. Motorhoz alaphelyzetben felszerelt egységek

A motor járását szabályzó fékgép mellett ugyanattól a gyártótól, egy a működési jellemzőit regisztráló egység is található. A fordulatszámot és a nyomatékot a fékgépen keresztül kapja, míg a beszívott levegő mennyiségét a szívóoldalra helyezett nyomás és hőmérsékletmérő segítségével határozza meg. A fogyasztást egy kalibrált műszer végzi, ami az üzemanyag adagoló henger hidrosztatikai nyomását méri. A fogyasztás hamis értékének elkerülése érdekében ezt a hengert minden mérési ciklus elején adott pontig kell tölteni egy erre a célra beépített szivattyú segítségével. Így a hidrosztatikai nyomás állandó értékről indul. A kipufogógáz, beszívott levegő és az üzemanyag hőmérsékletét is kijelzi ez a gép. Több értéket, mint például a teljesítményt, fogyasztási értékeket és a hatásfokot a meghatározott mennyiségek segítségével határozza meg.

A 6.3. ábrán a mérőegység látható, a rajta elhelyezkedő elemekkel megszámozva.



6.3. ábra CT 151 típusú vizsgáló egység<sup>3</sup>

<sup>3</sup> forrás: GUNT CT151 - 4 ütemű dízelmotor bemutatása és mérések leírása, Miskolci Egyetem

A mért értékek kezelésére és mentésére, az információ egy USB kábelén keresztül jut el a számítógéphez, ahol egy CT159 nevezetű szoftver áll a rendelkezésre. Itt több kijelzőn keresztül követhetjük a motor jellemzőit. A System Diagram nevű felületen egy sematikus ábra található, a folyamat részeihez pedig a pillanatnyi értékük (hőmérsékletek, nyomások...) párosul. Itt található még a mérési idő beállítása is. Ezzel a ciklus idejét lehet változtatni, ami alatt az átlagértékeket számolja, ezt tudjuk majd elmenteni. A Measurements Diagram menüpontban a mérés adatai diagram formájában jelennek meg. Itt beállítható, hogy minek a változását szeretnénk látni, minek a függvényében. Ezen a felületen található az adott mérési ciklus értékeinek regisztrálására szolgáló ikon is. Emellett a mérési sorozat indítása és mentése is innen kezelhető [7].

### **6.3. Általunk választott, specifikus mérőműszerek**

A vizsgálat során az előző fejezetben felsorolt műszerek segítségével meg lehet mondani, a berendezés hatását a különböző paraméterekre, és hogy a változás milyen nagyságú. A kísérlet további célja viszont kideríteni, hogy mi idézi ezt elő, valamint a jelenség tanulmányozása. Ehhez külön mérőeszközök beszerelése volt indokolt. Mivel a feltételezés az volt, hogy nyomáshullámok felelnek az általam előidézett eseményekért, ezért nyomásmérő szenzorok voltak az elsődleges fontosságúak. A nyomást több helyen is érdemes megfigyelni, ezért azt a megváltoztatott szívócső esetében három ponton nyomásmegcsapolás segítségével vizsgáltam. Figyeltem a nyomás alakulását a hengerhez legközelebb eső helyen, valamint a rezonátort alkotó idomok összekapcsolódása előtti és utáni állapotban.

A műszerek kiválasztása során több tényezőt figyelembe kellett venni. Először is valamilyen információval kell rendelkezünk a mérendő mennyiségről. Tudjuk, hogy a jelenség ismétlődő, szóval van frekvenciája, tehát a sáv szélességnek elég nagy-nak kell lennie, hogy azt értékelhetően jelenítse meg. A hullám változásainak kirajzolásához megfelelő mintavételi frekvenciára van szükség, ennél a pontnál figyelembe kell venni a használt csatornák számát, hiszen a csatornák számának növekedésével csökken a mintavételezés. A jelbefogadási időtartamot a memória mélysége határozza meg, az adathalmaz további kezelésénél ez fontos tényező. A nyomásértékek pontos megjelenítéséhez a függőleges felbontásnak is megfelelően nagy-nak kell lennie, ehhez tudnunk kell a jelenség nyomástartományát.

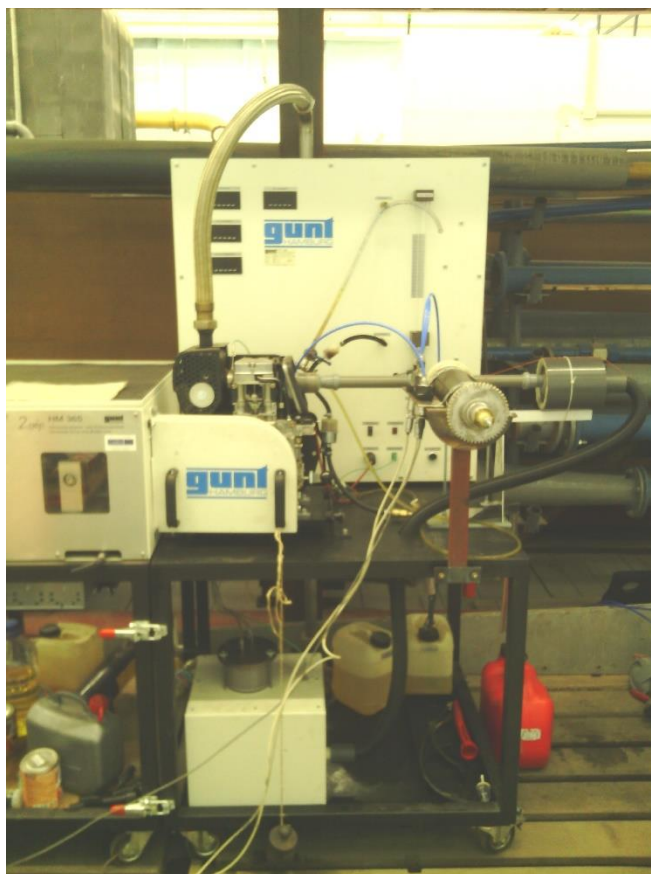
A nyomáshullámok és a vizsgált jelenségek frekvenciáját a számolások során maximum 250 Hz értéket mutattak, tehát a mintavételezési frekvenciának, a Shannon mintavételezési törvény szerint ennek kétszeresénél nagyobbnak kell lennie. A motor nyomásdiagnosztikai elemzések során a nyomástartományt általában 0,2 és 2 bar nyomások között vizsgálják.

A megvalósult mérőegységben az érzékelők a Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM) által gyártott P11 és P6 típusú, induktív elven működő membrános nyomás jelátalakító szenzorok kerültek beszerelésre. A P6 típusúak 10 bar, a P11-es pedig 20 bar nyomástartományon működik 6 kHz frekvencián. A szenzorok félhidas kivezetése egy Spider8 mérésadatgyűjtőbe érkezik, innen az adatok a megfelelő csatornákon továbbhaladnak a számítógépbe, USB kábelén keresztül. Az adatok kiértékelésére a HBM termékekkel kompatibilis CatmanEasy szoftver állt rendelkezésre, ami a nyomásértékeket kívánt módon tudja megjeleníteni és menteni. Az adatok elemzéséhez a kezelőfelületen konfigurálni kellett a csatornákat, hogy az érkező adatok a PC-n újra értékelhető formában és valós értékkel jelenjenek meg. Ezután a feldolgozási folyamat első lépése a mérés feltételeinek meghatározása. Beállíthatjuk a mintavételi frekvencia értékét, hogy a mérés mikor kezdődjön és fejeződjön be, esetleg triggerelés által, alkalmazhatunk ablakozó függvényt és mindent, ami az értékek könnyebb feldolgozását teszi lehetővé.

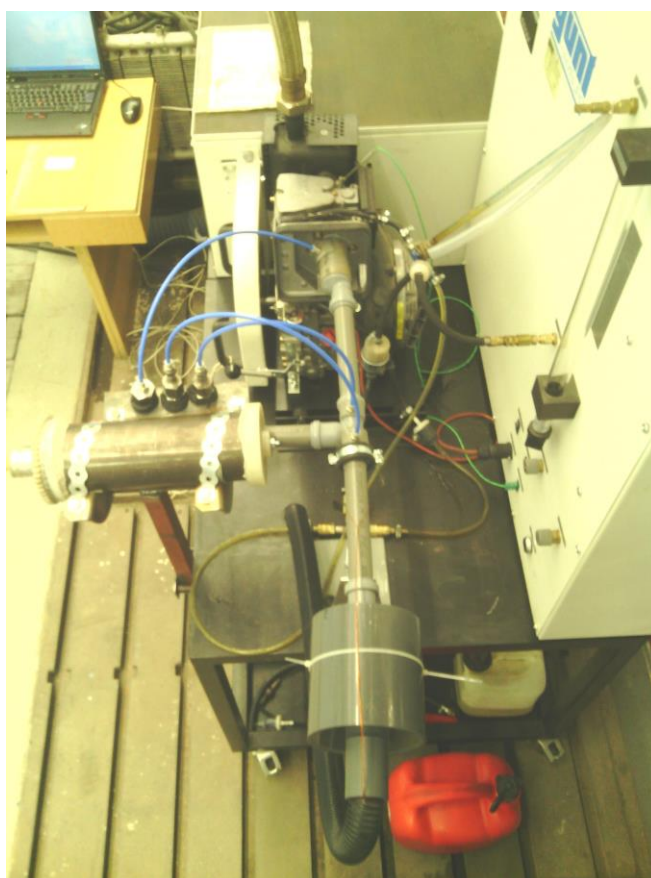
A Helmholtz-rezonátorral kiegészített kísérleti berendezés és annak mérésére szolgáló egységek elrendezése látható a 6.4. ábrán, illetve két perspektívából a motor és a szívóoldal felépítése a 6.5. és 6.6. ábrán.



6.4. ábra mérés elrendezése



6.5. ábra a motor és a szivóoldal előlnézetből



6.6. ábra a motor és a szivóoldal felülnézetből

## 7. MÉRÉS

A motor jellemzőit megjelenítő szoftver ciklusonkénti méréseket enged megvalósítani. Ez azt jelenti, hogy az egy időtartamban mért értékek átlagát veszi és menti el. A ciklus egy másik, ugyanakkora időegységet is tartalmaz, ez alatt végezhető el a kellő változtatások (gázadás, fordulatszám növelése, rezonátor dob térfogatának változtatása), majd a motor erre az üzemállapotra való beállása. A mért időtartam előtt fontos volt az üzemanyag referenciapontra való töltése a hidrosztatikai nyomás miatt. A beállított idő letelte után pedig regisztrálni kellett az utolsó időegység alatt mért mennyiségeket. Méréseim során én 3 perces időtartamot, azaz 6 perces ciklusokat használtam. Ez mind beállítás mind az értékek megjelenítése szempontjából megfelelőnek tűnt.

A jellemző értékek közül a fordulatszám, a nyomaték és a Helmholtz-rezonátor geometriája voltak, amiket a kísérletek alatt változtattam. A fordulatszám a motor működése miatt 900-3000 1/min tartományban, a nyomaték a teljesítménynek megfelelően választható. Ami a rezonátort illeti, a dobban kialakult térfogat maximum és minimum értéke között egy 263 mm-es skála került az alaplap palástjára, így a tartományt arányosan 28 részre osztottam. A térfogat legnagyobb értéke:  $V_{\max}=1,32 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ , a legkisebbé pedig:  $V_{\min}=2,433 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$ . A fordulatszámot és a nyomatékot az egyik fixálása után a gázkar segítségével tudtam pozícionálni. A rezonátordob térfogatát a tengelyre hegesztett forgó lap segítségével állítottam.

A mérés során különböző sorozatokat alkalmaztam, hogy a keletkező hatásokat minél jobban körüljárjam, ezáltal minden változás megjelenik, és az eredmények megerősítik egymást. Elsőként a motor fordulatszámát vettem állandónak és ezen a fordulaton változtattam a rezonátordob térfogatát 10 állásban a ciklusok előrehaladtával. 900-3000 1/min fordulatszámok között 8 mérést folytattam. A görbék kirajzolásához egy harmadik érték megfigyelése is szükséges, hogy a rezonátor által befolyásolt állapot leírható legyen. Szignifikáns változást, ami kimutatja majd a jelenséget, a nyomatékértékektől vártam, viszont a CT159 szoftver által számolt értékekben megjelenő változásokat is figyelemmel kísértem, meghatározó és permanens jelleggel kirajzolódó jelenségek után kutatva. Itt gondolok például a légviszony, a hatások vagy a légtömegáram rezonátordob változtatott térfogata által befolyásolt értékeire.

A mérések eredményeként egy olyan karakterisztika létrejöttét lehetett prognosztizálni, ahol a nyomaték, fordulatszám, rezonátordob térfogat hármasságát alkotott diagramban egy bizonyos dobtérfogaton pozitív hatások jelennek majd meg.

Ezen hatások közelebbi vizsgálatához a pontos nyomásértékek alakulását kellett regisztrálni. Ehhez nyomásmérő szenzorok és a jelfeldolgozáshoz szükséges további egységek voltak szükségesek. A nyomásmegcsapolásokról az értéket a szenzorok alakítják elektromos jellé, ez a jel kerül be a mérésadatgyűjtőbe innen pedig a megfelelő csatornákon, a számítógépen tudjuk kezelni azokat. Az adott fordulatszámokon folyó mérések alatt a kapott értékek egy valós idejű, „real time” diagramon kerülnek megjelenítésre, innen kép és a táblázatos formában is menthető adatok segítségével leírható a nyomásváltozás a szívócsőben.

Az eredményekben várható volt a rezonátor utáni megcsapolási pont környezetében létrejövő változás az előtte lévőhöz képest, valamint a szívócsőnkon vett értékek különbözősége az egyes üzemállapotokban végzett mérések esetén.

### **7.1. A motorhoz tartozó alapadatokat szolgáltató mérés**

Első alkalommal, amikor a berendezéssel kiegészített motor kipróbálásra került az a változás látszott az eredményekben, ami elvárt volt. Állandó fordulatszámon, a Helmholtz-rezonátor geometriájának változtatásával egyúttal a nyomaték értéke is változott, az elképzelt módon. A következő mérés megerősíthette volna a korábban látottakat, viszont a sorozat előrehaladtával éppen az ellenkezőjét értem el. A rezonátordob térfogatának változtatása során elért hatás csak rövid ideig állt fenn és az is csak egy bizonyos pont környékén. Később megállapítottam, hogy a téves eredmény a lapát egy ponton való akadása miatt volt. A pozitív következtetés, hogy a látottak alapján a nyomaték függ a szívócső elemeinek térfogatától. Kiderült viszont az is, hogy a rezonátorban tömítetlenségek vannak, ezért volt az egyetlen tömített helyen kiugró a teljesítmény és ez ad választ az ideiglenes értékekre is. A következő mérésnél felmerült még egy szivárgás, amely a nyaki rész és a dob között lépett fel. A hibák elhárítására a lapátokra és az eresztésért felelős csőre külön tömítést raktam és ezek után a változó térfogatú mérésekkor minden alkalommal meghúztam a rezonátordob tengelyén lévő anyákat. A későbbiek során egyéb tömítetlenségek nem léptek fel, a 8 fordulaton végzett változó térfogatú adatregisztráció további akadály nélkül zajlott le.

A következő méréssorozatot már csak egy kisebb fordulatszám tartományon végeztem el ugyanazt a mérést, több térfogattal. Ez a tartomány az első sorozatból kapott kép alapján lett kiválasztva. Ebben a tartományban látszódott legjobban, hogy a nyomatékban jól észrevehető változások mutatkoznak. A tervezési fázisban 2500-as fordulát esetével számoltam ki a rezonátor paramétereit, ezért nem meglepő, hogy itt jelentek meg a keresett hatások. Ennek tudatában 2400, 2500 és 2600 1/min fordulatszámokon végeztem méréseket 27 rezonátordob térfogattal. Ettől a méréstől a jelenség pontosabb megjelenését vártam.

## **7.2. A berendezésre szerelt szenzorok által végzett mérés**

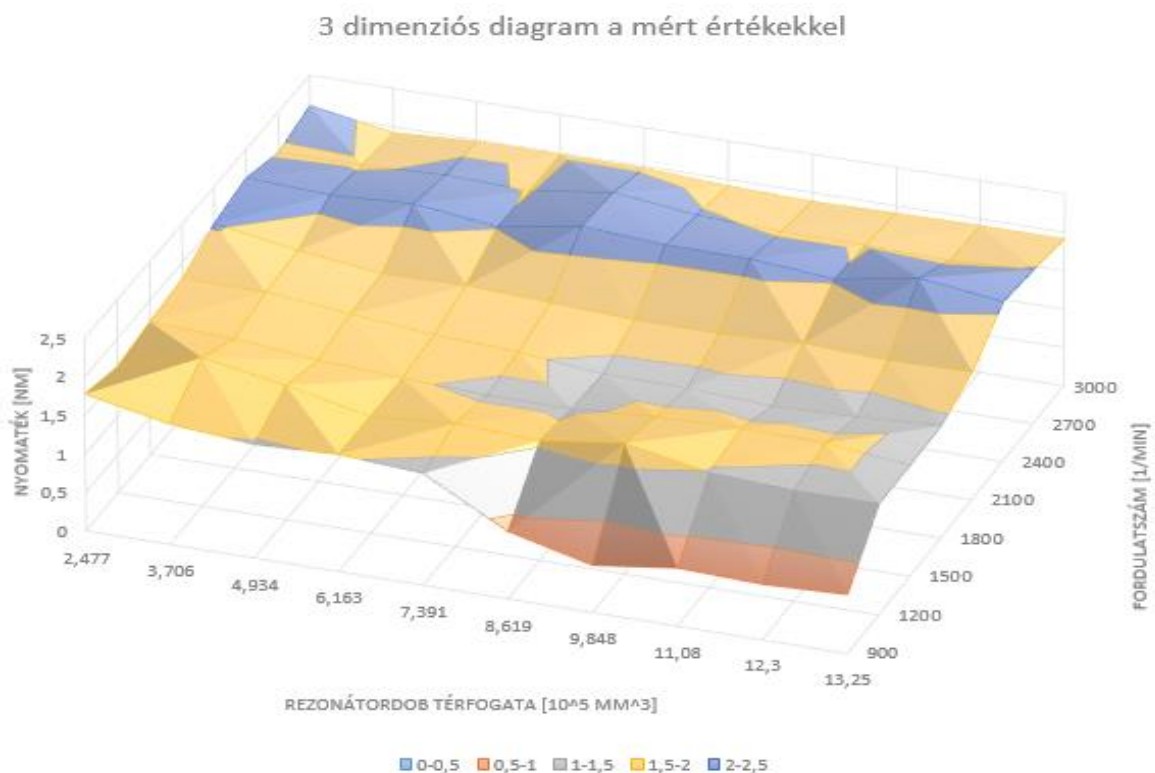
A mérés elindításához, a szoftverben be kellett állítani a méréshez szükséges paramétereket, hogy a nyomás ingadozása láthatóvá váljon. A program rövidebb tanulmányozása után létrehoztam egy új DAQ (data aquisition) projektet. Az előzetesen telepített illesztőprogramnak köszönhetően a számítógép automatikusan érzékelte a mérésadatgyűjtőt, így a csatornái ennek megfelelően megjelentek a munkalapon. Elsőként a megfelelő szenzor adatokat kellett a csatornákhöz párosítani. Ez a P6 típusú érzékelők esetén könnyűnek bizonyult, egy művelet után a csatornán megjelentek a nyomásértékek. A harmadik P11-es nyomásszenzor viszont nem volt benne a szoftver adatbázisában, ezért ahhoz külön kellett konfigurálni egy beállítást, így végül arról is használható adatok érkeztek. A mérések elkezdése előtt mindhárom értéket nulláztam annak érdekében, hogy egy nyomástól számoljanak. Ezután a látott érték minden esetben a légköri nyomástól való eltérés. Az adatgyűjtés konfigurálása során beállítottam a mintavételi frekvenciát 1200 Hz-re és hogy a mérést 600 minta után, azaz 0,5 másodperc elteltével fejezze be. A fájlt a Catman szoftver által kezelt formában mentettem, így később felhasználható a mentés. Az adatok megjelenítésére egy valós idejű diagramot választottam, ami fél másodperces sávszélességben mutatja a nyomásváltozást  $\pm 0,1$  bar felbontásban. Ez idő alatt a három görbe alakulása jól kivehető és a változások megmutatkoznak. A további elemzés céljából alkalmaztam a program által nyújtott lehetőség közül néhányat. Egy hullám analízisére az x tengelyen elhelyezkedő időt csökkentettem, illetve 3 részre osztottam a munkalap felületét a három szenzor külön megjelenítésére. Továbbá éltem az opcióval, ami lehetővé teszi az adatok táblázatos formában való kimentését, ezáltal számértékekben tárolhatóvá váltak az eredmények.

## 8. MÉRÉSI ADATOK KIÉRTÉKELÉSE

A mérések végzése közben mindig elemeztem az előzőekben kapott értékeket és vártam az adott sorozat befejezését, hogy kirajzolódjon a végleges eredmény. Ezek utat mutattak a vizsgálat újabb, pontosabb eredményeket adó méréseihez vagy az eddigiek tökéletesítéséhez. Szerencsére csak néhányszor kellett visszafordulni és újrakezdeni, az esetek többségében az elgondolások és következtetések helytállónak bizonyultak.

### 8.1. Nyomatékmérés eredménye a Gunt mérőegységgel

A mérőrendszerrel nyert kezdeti tapasztalatok segítségével indított változó rezonátordobos méréstől azt vártam, hogy a kapott értékek olyan képet alkotnak, amely a motor teljes fordulatszám tartományát lefedi és megmutatja az ott létrejövő változásokat. Ennek sikerességét mutatják az ábrák, amiken a mért adatok Excel táblázatba való gyűjtése után 3 dimenziós, felületi diagramokon tüntettem fel. A megjelenítésnél törekedtem arra, hogy az eredmények érthetőbbek és szemléletesebbek legyenek, ezért két féle fajlagosítást alkalmaztam. A 8.1. ábra a mért értékeket mutatja, ez viszont megtévesztő lehet, hiszen a kezdeti nyomatékot én állítottam be a gázkar segítségével. Szerencsére, számunkra csak az egy fordulatszámon látható változás az érdekes és döntő fontosságú.

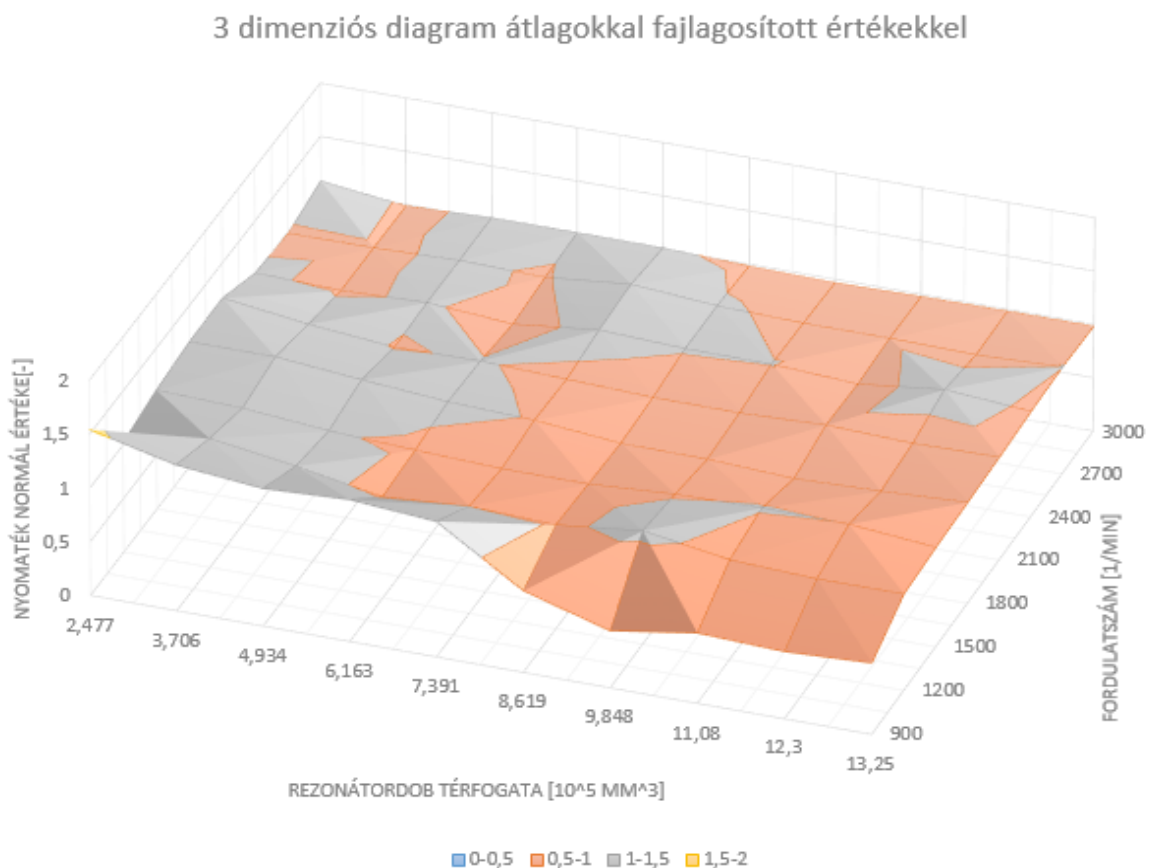


8.1. ábra mért értékek bemutatása

Az x tengelyen látható az egyes mérések alatt változtatott rezonátordob térfogatok nagyságai  $10^5 \text{ mm}^3$ -ben, az y értékek helyén a nyomatékok állnak, ezek változását kívánja mutatni az ábra, a z tengely pedig a fordulatszámokat mutatja, amin a változó geometria mellett a nyomatékot figyeljük. Az általam elvárt eredmények már ezen a képen is megjelennek, de félrevezető lehet a nyomatékok tartományának különbsége is. Ez a mérés beállításainak pontatlansága miatt adódik, a fajlagosítás után viszont ez a hiba az eredmény szempontjából lényegtelen.

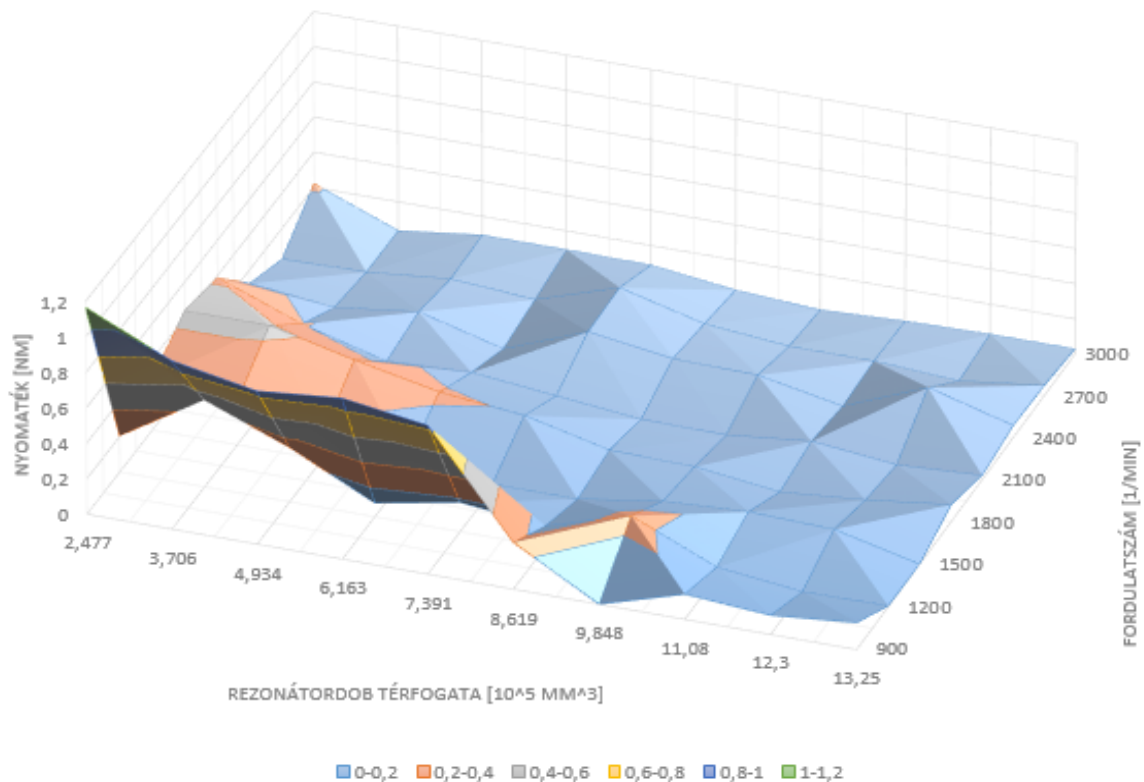
A 8.2. ábrán azok az értékek jelennek meg, amiket már az adott fordulatszámon vett átlagnyomatékkal elosztottam. Az egynél kisebb számok tehát az átlagnál kisebb az egynél nagyobbak pedig annál magasabb értékűek.

Következőnek az eredeti adatokat úgy változtattam, hogy a legkisebb értékek kivonásra kerültek az alapértékből. Ekkor a nulla a referencia és ehhez viszonyulnak a változások. Ezt a 8.3. ábra szemlélteti. A nyomatékértékek ezen esetekben jelentőséket vesznek, a változások viszont annál hitelesebben leolvashatók.



8.2. ábra a nyomatékok átlagértékeikkel osztva

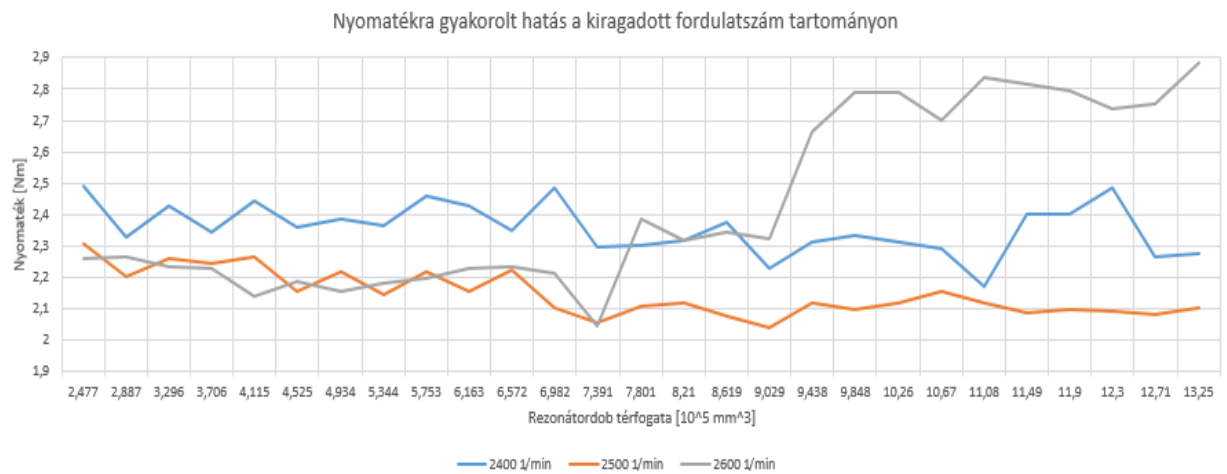
### 3 dimenziós diagram a legkisebb értéktől való eltéréseket szemléltető ábrán



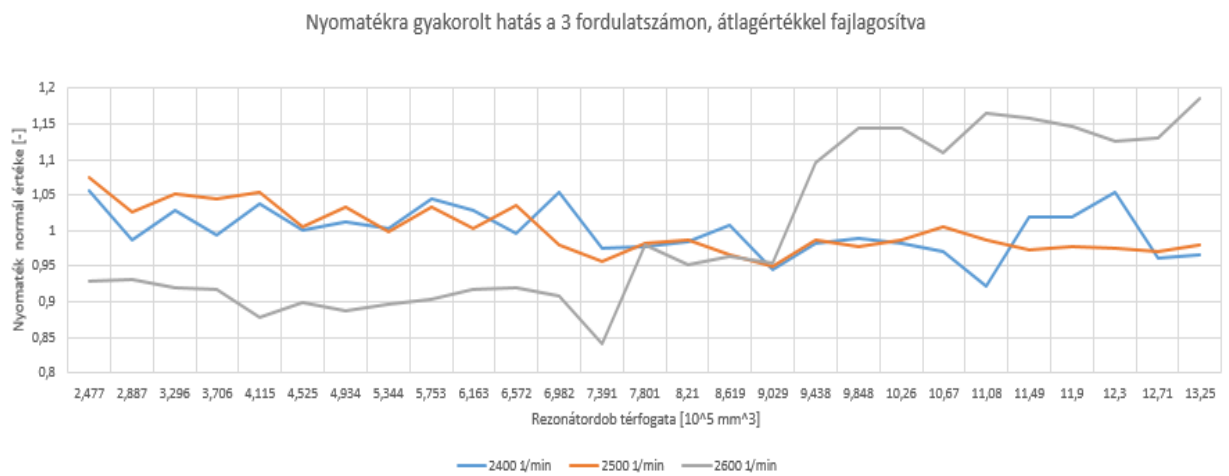
8.3. ábra nyomatékértékek nullához viszonyítva

Az ábrákon látható a 900 1/min fordulaton látható kezdeti ugrás. Ez valószínűleg az okozta, hogy a rendszer e tartománya közel áll az alapjárat fordulatszámhoz, ahol a motor működése jellemzően egyenetlen. Az általam vizsgálni kívánt fordulatszám tartomány a magasabb értékekre terjed ki. Jelen esetben a 2400 és 2700 1/min közötti rész, ahol a dobtérfogat változtatásával többszöri növekedés látható. Mivel a tervezésnél a 2500-as fordulatszámot használtam, a szívócsőhossz ennek megfelelően ebben az esetben az ideális a hullám terjedésének szempontjából, tehát a változás itt a legszembevetőbb.

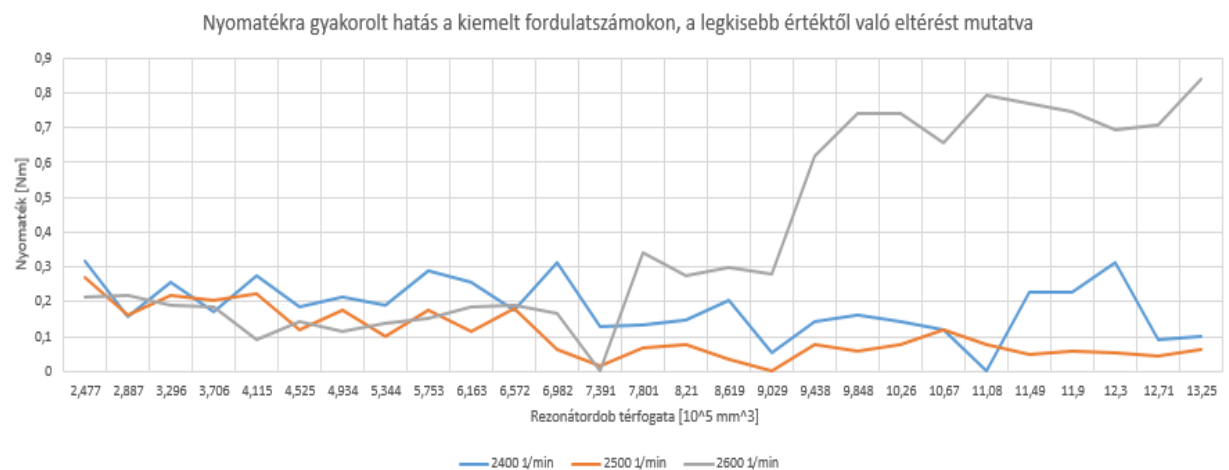
A következő mérések ebben a tartományban történtek, méghozzá 2400, 2500 és 2600 percenkénti fordulaton, ahol 27 dobtérfogati állásban lettek feljegyezve a nyomatéki adatok. Az eredmények megjelenítésére már 2 dimenziós diagramot használtam, mintha az eddigi 3D-s ábrát a z síkon figyelnénk, tehát csak az x-y diagramot, azaz a nyomatékértékeket szemléltetve a rezonátordob függvényében. Mivel csak három mérésről van szó, a változások jól láthatóak e formában is. A következő ábrák ezeket az eredményeket mutatják. Hasonlóan az előzőekhez a 8.4. ábrán a mért, valódi nyomatékok láthatók, a 8.5. és 8.6. ábra diagramjai pedig a már ismert fajlagosítással szemléletesebbé tett értékeket mutatják meg.



8.4. ábra mért értékek megjelenítése



8.5. ábra a nyomatékok átlagértékeikkel osztva



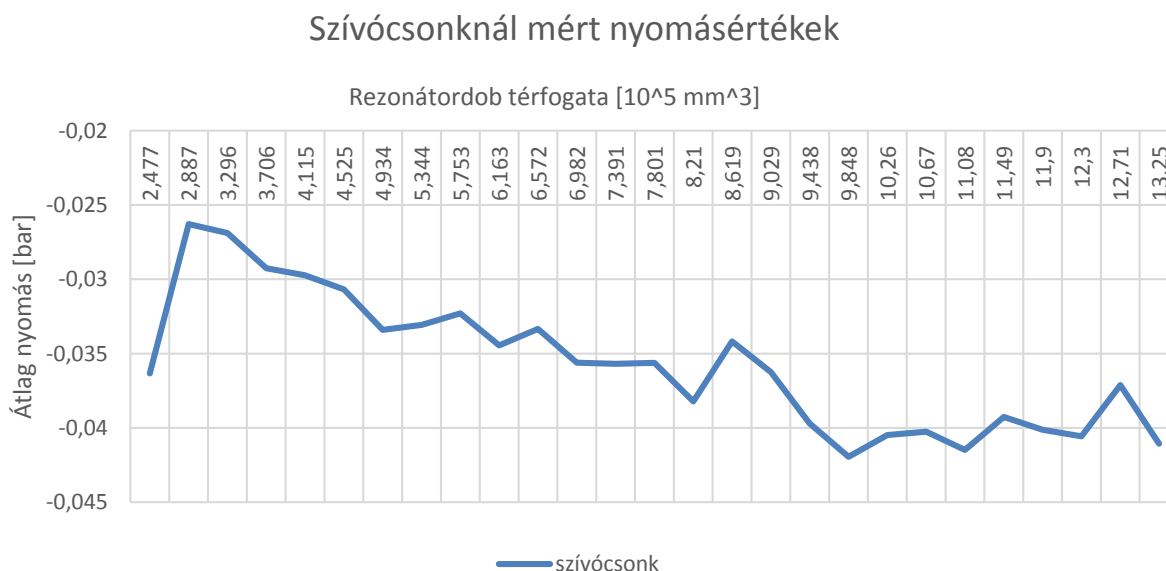
8.6. ábra nyomatékértékek nullához viszonyítva

Jól kivehető a 2600 1/min fordulatszámon mért értékek ugrása a rezonátor dob térfogatának magasabb értékein. A görbe alakulása a feltevésem bizonyítására szolgál.

gál, ugyanis nagymértékben nő a nyomatékérték a rezonátor geometriájának módosításával. Azt láthatjuk, amint a szívócsőben rezgő levegő frekvenciája egybeesik a beállított rezonátoréval, így a két hullám szuperpozíciója esetén összeadódnak.

## 8.2. Nyomásmérés eredményei a HBM mérőegységgel

A nyomásváltozásokat minden egyes mérés alkalmával elvégeztem és adatait tároltam, így az egyes pontokban követhetővé vált, hogy az érezhető hatást milyen kimutatható nyomásviszonyok okozzák. A nyomatékértékeket megjelenítő diagramokból kiindulva a 2600 1/min fordulatszámon mért eredményeket vizsgáltam tüzetesebben. Először, azt leellenőrizve, hogy a nyomatékváltozásnak köze van a rezonátordob térfogatához, illetve a nyomás változásához, szükség volt valamilyen bizonyítékra a szenzorok adataiból. Ehhez vettem igénybe a Catman Easy program által biztosított lehetőséget és táblázatos formába mentettem ki a szükséges nyomásértékeket az adott mérésből. Ez azt jelentette, hogy adott esetben ezen a fordulatszámon, dobtérfogatonként 600 értéket. Együtt kezelhetetlen adathalmazt jelentettek, viszont ismétlődő jellegük miatt az átlaguk is elegendő információt szolgáltat a változás leírására. Ennek megfelelően csak átlagértékeik felhasználásával összehasonlítottam a különböző dobtérfogatokon mért nyomásokat. A szívócsőnk közelében lévő nyomásszenzor eredményeit a 8.7. ábra mutatja.



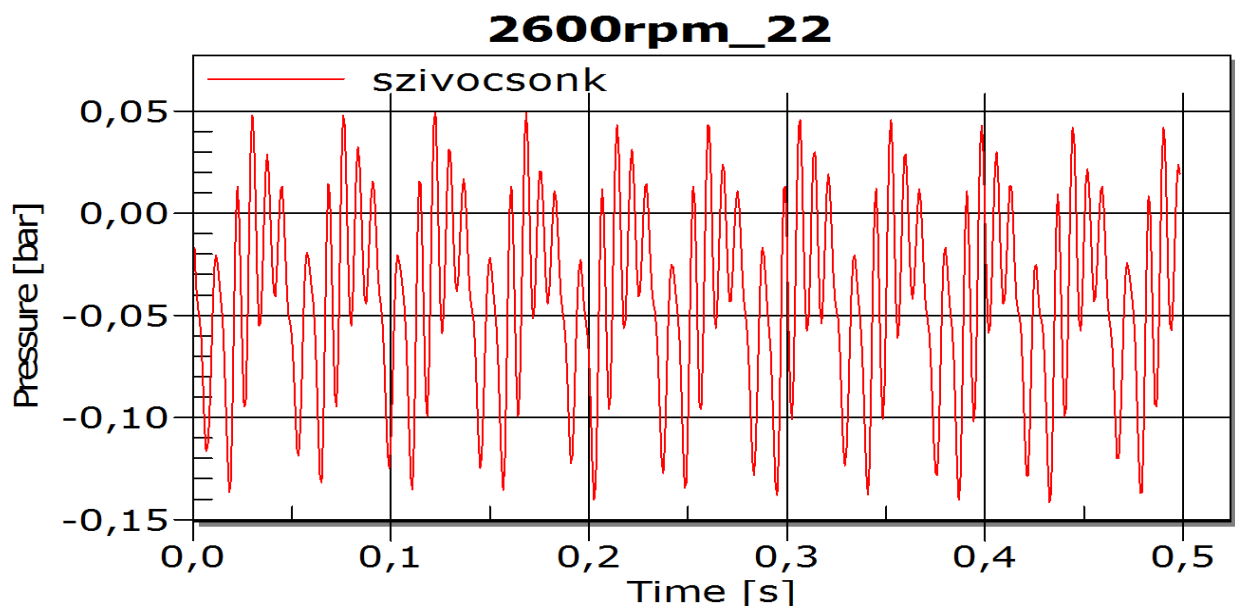
8.7. ábra nyomásértékek a dobtérfogat alakulásával

A nyomásátlagok változásából az látszik, hogy a kapott görbe a nyomatékváltozással szoros összefüggést mutat. A csökkenés azt jelenti, hogy a szívás üteme alatt

a hengerben nagyobb a vákuum értéke, tehát nagyobb a beszívott levegő mennyisége és a jobb égés miatt a nyomaték is.

Ezen a fordulaton észrevehető egy nagy váltás, ami előtt viszonylagosan kisebb utána pedig nagyobb nyomásértékek olvashatók le. Ezért úgy döntöttem, mindkét részből kiválasztok egy-egy eredményt és kicsit több időt szánok a kiértékelésükre. Kiválasztottam a legnagyobb nyomaték értéket képviselő,  $11,08 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$  rezonátordob térfogatot és ennek a felét. Később láthatóvá vált számomra, hogy bár a két részen teljesen másak a kapott változások, egymás között, az ugrás pontjáig viszont nincs számottevő különbség. A kiértékelés során elsőre meglepő, később értelem-szerűen magyarázható eredményekkel találkoztam.

Mielőtt összehasonlítanám a szóban forgó eseteket, a kapott ábrák megértéséhez szükség van egy kis magyarázatra, mi is látható a képeken. Mivel szakirodalomban leírást nem találtam, ezért a diagramok látható változásokat saját értelmezés szerint kezeltem. A bemutatáshoz szükség van egy általános görbére, ami a lehető legtisztábban mutatja a szívórendszerben mért nyomásviszonyokat. A rendelkezésemre álló szenzorok közül erre legalkalmasabb a szívócsonk közelében elhelyezett műszer értékeinek elemzése. A karakterisztika tapasztalataim szerint üzemállapottól nem függ, ezért nincs jelentősége melyik fordulatszám és rezonátordob térfogat eredményét mutatom be. Elsőként a legnagyobb nyomatékértéket szolgáltató állapotban mért eredmény látható a 8.8. ábrán. A képen megfigyelhetők az említett nyomáshullámok az idő függvényében. Jól kivehető a motor működéséből adódó periodicitás, valamint a szívócső nyomásértékei az egyes ciklusokban. Az ábrán közel 11 ciklus jelenik meg, fél másodperccel számolva a 2600 1/min fordulatszám-ból adódik a pontos eredmény, ami 10,8333. Minden 2 fordulatra jut egy szívási szakasz - ami a nagy negatív amplitúdó formájában látszódik- és egy szakasz ahol a szívószelep zárva van. Utóbbiban látható a szívócsőben kialakuló állóhullám és ennek csillapodása egészen a következő szívásig. A lengések száma a tervezettnek megfelelően a szívócső hossza miatt adódik, a nyomáshullám 4 teljes periódust tesz meg mielőtt a szelep nyitódik. Természetesen a fordulatszám csökkentésével a szívószelep hosszabb ideig marad zárt állapotban, ennek okán a periódusok száma több mint 4, ez a kapott diagramokon is megjelenik. A veszteségek miatti csillapítás megmutatja az elméleti áttekintésben már említett hasonlóságot a mechanikai rezgés rendszerével és szemlélteti rugó-tömeg analógia érvényességét.

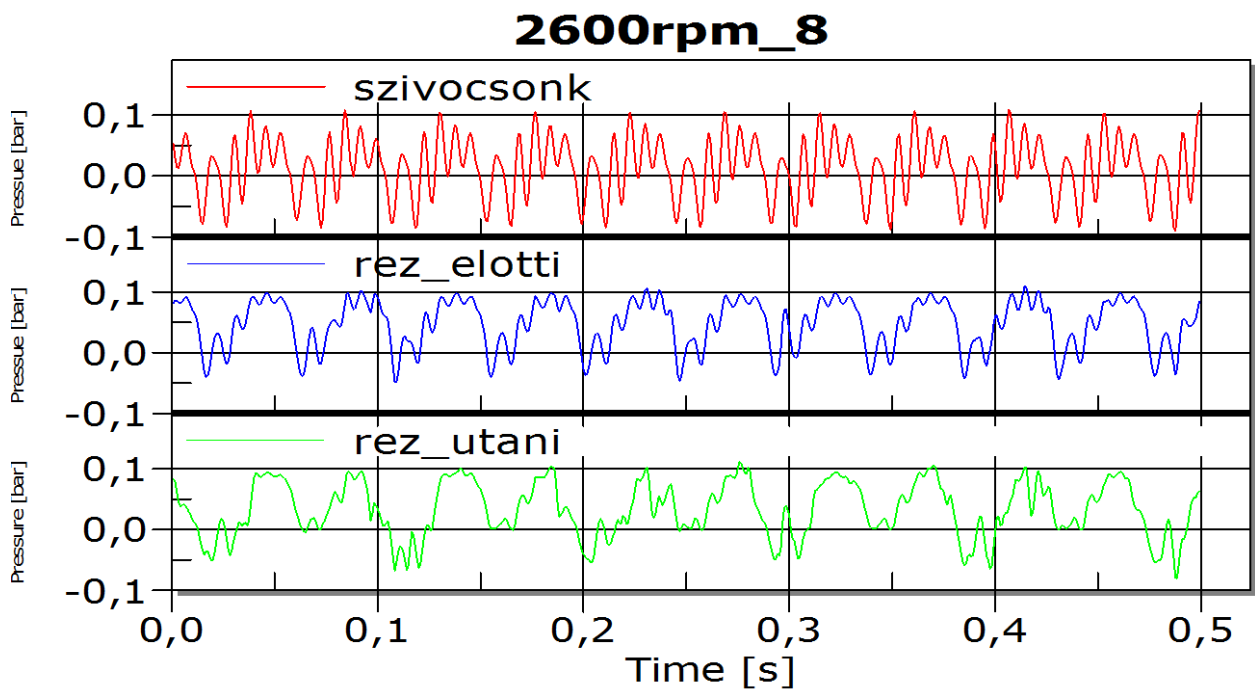


8.8. ábra nyomáshullám a szivócsonknál

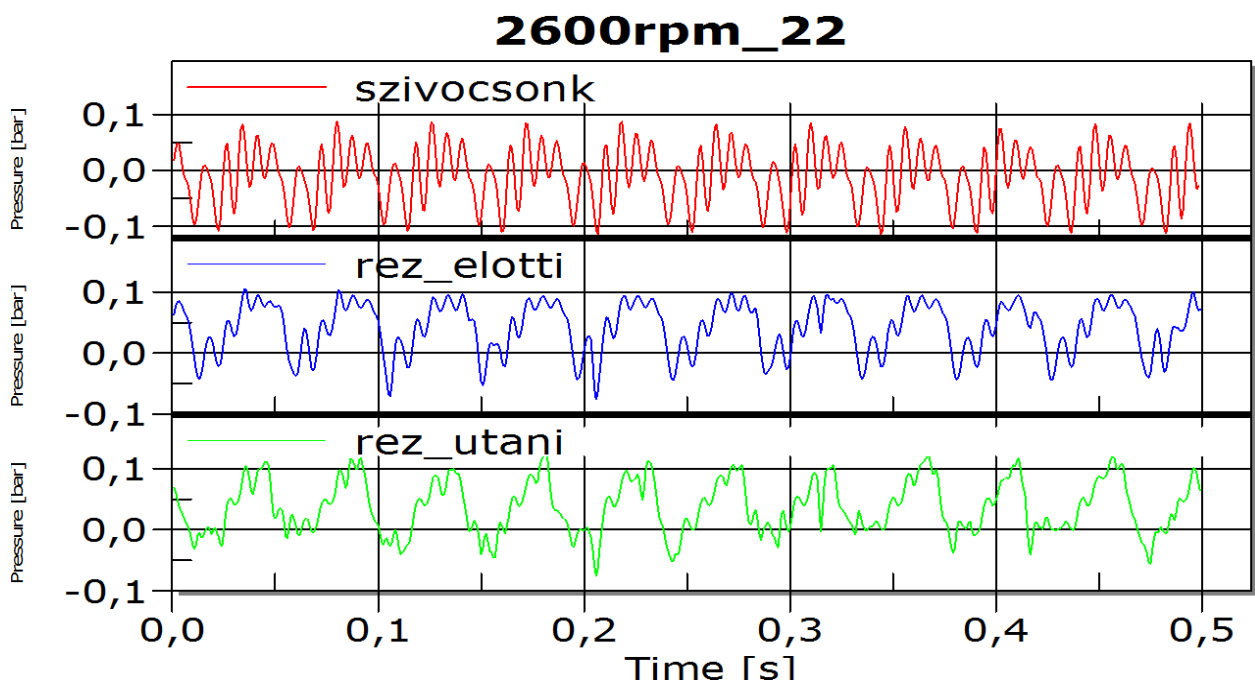
A görbe tanulmányozása után összevettem a 2600-as fordulatszámon mért kisebb és nagyobb rezonátordob térfogatú eredményeket. A szenzorok által mért görbék elkülönítésével jól láthatóvá vált a nyomatékban is megjelenő nagymértékű változás oka. Az árulkodó jelet a legsó – valóságban is a szivócsonktól távolabb eső szenzor értékei mutatják, ami a hengertől nézve a rezonátor után helyezkedik el. A kisebb térfogaton mért (8. mérés) hullámon egy periodikus hatás látszódik, amely minden második periódus negatív amplitúdóját változtatja. Ha pedig a nagyobb térfogat (22. mérés) esetében vizsgáljuk ugyanezt a görbét, ilyen esetet nem fedezünk fel. Látható viszont, hogy a felsőbb – térben előtte elhelyezkedő szenzorok által mért jelekkel együtt mozog és értékei nagyobbak.

Valószínűleg egy olyan eset állt elő, amikor a kisebb térfogat esetén a rezonátor nagyobb frekvenciája épp nem volt megfelelő az összeadódáshoz, csak minden második periódusban fejtett ki hatást. A térfogat növelésével viszont az eltérés kiegyenlítődött és a két hullám együtt változott, ezáltal pozitív hatást kifejtve a nyomaték értékére. Ezt láthatjuk, amikor a 2600 1/min fordulatszámon végzett mérés adatai jelennek meg a nyomaték-rezonátordob térfogat diagramon.

Az említett nyomásgörbék a két térfogaton, a 8.9. és 8.10. ábra szemlélteti.



8.9. ábra a kisebb térfogaton mért értékek



8.10. ábra a nagyobb térfogaton kapott eredmények

## 9. ÖSSZEGZÉS

A dolgozat végére úgy érzem elértem az előre kitűzött célt és sikerült bebizonyítani, hogy az egyénileg épített berendezésnek van hatása a motor működésére. Nagy eredménynek tekintem továbbá, hogy megtaláltam a legjelentősebb változás helyét és a vizsgálatok során kimutatásra került a létrehozó hatás is. Ennek fényében úgy vélem, a kutatás ebben a témában további ráfordítást is érdemel. Vegyünk például egy eljárást, amit a gyakorlatban is alkalmaznak.

Egy autó működése során különböző menetciklusok szerint működik, ennek köszönhetően legtöbbször más és más fordulatszám tartományokra van szükség. Ezzel ellentétben az ismert, passzív töltést segítő eljárások csupán egy bizonyos fordulatszámon tudják segíteni a motor működését. A dolgozatban ismertetett motorvizsgálat segítségével meghatározható, hogy az adott szívócső esetén melyik tartományt miként tudjuk változtatni. Ezáltal természetesen egy változtatható paraméterű berendezés segítségével, dinamikus rendszer is létrehozható. Az eljárás menete, hogy egy ismeretlen hosszúságú szívócső esetében elvégezzük az alpméréseket, majd a kapott motor jellemzőket és a nyomásértékeket vizsgálva megállapítható a szívócső pontos hossza. Ennek tudatában kiszámítható, hogy az esetlegesen beépített rezonátor adott fordulatszámokban milyen paraméterekkel kell, hogy rendelkezzen. További, már rezonátoros mérésekkel pedig ellenőrizhető a motor működésének változása és a nyomásértékek alakulása. Az általam végrehajtott mérési sorozatok alkalmasak a megfelelő fordulatszám tartományokhoz tartozó hangolás megvalósítására.

Ennek eléréséhez a jelen mérések folytatása esetén mindenképp érdemes lenne megnézni, az első mérés diagramján feltűnő változásokat, az alacsonyabb fordulatszám tartományban. Az eredetileg számolt fordulatszám felénél ugyanis hasonló jelenségek feltűnése várható. Emellett a már vizsgált tartomány is további méréseket igényelne a pontosabb felderítés érdekében. Érdekes megállapításokra tehetnék szert még a motor más paramétereinek vizsgálatával is, gondolok itt például a kibocsátásra vagy a fogyasztásra.

A jövőbeli lehetőségek száma hatalmas lehetőséget nyújt számomra. Hasznos kutatás lehet, hogy milyen jelentőségű a rezonátor hatása, összehasonlítva más feltöltést javító berendezésekkel (turbófeltöltő, kompresszoros feltöltés), valamint más felépítésű motorokban. Érdekelne még a rezonátor beépítésének és működtetésének lehetősége egy valós elrendezésű motor esetében.

## **10. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS**

Először is szeretném megköszönni az Áramlás-és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék támogatását, hogy igénybe vehettem a műhelycsarnokot a kísérletek alatt, és hogy minden szükséges eszközt a rendelkezésemre állítottak, amire szükségem volt. Köszönettel tartozom a konzulensemnek, Tollár Sándornak, aki minden helyzetben segítségemre volt és az adott problémák felmerülése esetén a megfelelő útmutatásokkal látott el. Szeretném kiemelni Ramada Zoltán segítőkészségét végig a mérések és annak előkészítése során, különösképp a tervezett berendezés megvalósítása alatt. Köszönöm továbbá a támogatást Farkas László és Farkas András részéről is, akik az elektrotechnikai problémák esetén nyújtottak elengedhetetlenül fontos segítséget. Meg kell, hogy említsem továbbá a HBM mérnöki iroda útbaigazítását is, akik nélkül a szenzorok kezelése sokkal nehezebb feladat lett volna.

## 11. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] TÓTH RÓBERT: *Helmholtz-rezonátor alkalmazása belsőégésű motor szívórendszerében*, Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszéke, 2014. 4. fejezet, Elméleti áttekintés, p.4-6.
- [2] TOLLÁR SÁNDOR: *Négyütemű belsőégésű motorok töltetcserejét befolyásoló tényezők vizsgálata*, Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszéke, 2010. 4. fejezet, Elméleti áttekintés, p.4.  
[http://epa.oszk.hu/00000/00028/00052/pdf/msz\\_EPA00028\\_2013\\_60\\_33-38.pdf](http://epa.oszk.hu/00000/00028/00052/pdf/msz_EPA00028_2013_60_33-38.pdf)
- [3] L. KINSLER, A. FREY, A. COPPENS, AND J. SANDESR. *Fundamentals of Acoustics*. 3rd ed. New York: John Wiley and Sons, 1982. 4. fejezet, Elméleti áttekintés, p.4-5.
- [4] *On the theory and design of acoustic resonators*. The journal of the Acoustical society of America, 1953-.25(6):1037-1061,.
- [5] KALMÁR ISTVÁN, STUKOVSKY ZSOLT: *Belsőégésű motorok folyamatai*, Műegyetemi Kiadó, 1998, (ISBN 963 420 565 8). 4. fejezet, Elméleti áttekintés, p.6-7.
- [6] M.A. CEVIZ \*, M. AKIN: *Design of a new SI engine intake manifold with variable length plenum*, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Atatürk, Turkey
- [7] *GUNT CT151 - 4 ütemű dízelmotor bemutatása és a hallgatói mérések leírása*, Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszéke, 2012;  
[http://www.aht.uni-miskolc.hu/wp-content/uploads/2012/06/Tamop\\_segedlet\\_01\\_20120628ig.pdf](http://www.aht.uni-miskolc.hu/wp-content/uploads/2012/06/Tamop_segedlet_01_20120628ig.pdf)
- [8] DR. LAKATOS ISTVÁN: *Diesel motorok diagnosztikája és javítása*, Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, 2008.  
[http://www.kepzesevolucioja.hu/dmdocuments/4ap/13\\_0675\\_004\\_101015.pdf](http://www.kepzesevolucioja.hu/dmdocuments/4ap/13_0675_004_101015.pdf)
- [9] GARY GOMS: *The pressures of intake manifolds vacuum tests*, 2006.  
<http://www.underhoodservice.com/diagnostic-dilemmas-the-pressure-of-intake-manifold-vacuum-tests/>

## **Internetes hivatkozások:**

HBM GmbH, Információ a nyomásszenzorokról és szükséges szoftverek letöltése:

<http://www.hbm.com/en>

Pierburg GmbH, Nyomástartomány meghatározása: [http://download.ms-motor-service.com/ximages/pg\\_si\\_0102\\_en\\_web.pdf](http://download.ms-motor-service.com/ximages/pg_si_0102_en_web.pdf), letöltési idő: 2014.10.15.

Leírás a hullám gerjesztéséről: <http://www.stealth316.com/misc/grapeape-inductionsystems.pdf>, letöltési idő 2014.05.02.

Helmoltz-rezonátor leírásához: <http://www.brighthubengineering.com/machine-design/84316-how-intake-resonators-improve-volumetric-efficiency/>, letöltési idő: 2014.05.04.

Töltési fok rezonátor térfogat függése:  
<http://planetsoarer.com/resonator/ResonatorsAcoustic.htm>

## F1. FÜGGELÉK

4.1. fejezet: A jelenség mechanikai megközelítése.

Az akusztikai rendszert jellemző értékekből előállt egyenletek, amelyek a rezonátor impedanciájának számításához szükségesek.

Akusztikai keménység:

$$k_r = \frac{\rho \cdot c^2 \cdot S^2}{V}, \quad (1.1)$$

ahol  $\rho$  a közepes sűrűség,  $c$  a hangsebesség,  $S$  a nyaki rész keresztmetszete és  $V$  a rezonátor térfogata.

A csillapítás forrásai lehetnek a nyak kiképzéséből adódó hangsugárzás (radiation) és a viszkozitásból adódó veszteségek. Utóbbi sok esetben elhanyagolhatóan kicsi a hangsugárzás nagyságához képest. A két veszteség leírása rendre:

$$R_r = \frac{\rho \cdot c \cdot k^2 \cdot S^2}{2 \cdot \pi}, \quad (1.2)$$

amely egyenletben  $k$  a hullámok száma,  $k=\omega/c$ .

$$R_v = 2 \cdot R_s \cdot S \cdot \frac{(L + a)}{\rho \cdot c \cdot a}, \quad (1.3)$$

ahol  $R_s$  az elegendően nagy nyakátmérő,  $L$  a nyak tényleges hossza,  $a$  pedig a sugara.

A mechanikai rendszer impedanciája a gerjesztő erő és a gerjesztett rendszer adott pontjának sebességének aránya. A rugóval, csillapítással és tömeggel rendelkező egység mechanikai ellenállása:

$$\hat{Z}_{mres} = \frac{\hat{F}}{\hat{u}} = R_m + j \cdot \left( \omega \cdot m - \frac{k_r}{\omega} \right). \quad (1.4)$$

## F2. FÜGGELÉK

4.2. fejezet: A nyomáshullám akusztikai leírása.

$\Delta V$  a sebesség időintegrálja alapján:

$$\Delta V = \int_{t=0}^{\frac{\lambda}{4c}} S \cdot v dt = \frac{S \cdot v_m \cdot \lambda}{2 \cdot \pi \cdot c} \cdot \cos 2\pi \cdot \frac{L}{\lambda}, \quad (2.1)$$

ahol:  $L$  - a cső hossza,

$S$  - a cső keresztmetszete.

$\Delta V$  az adiabatikus állapotváltozás által felmerülő képlet miatt:

$$d\Delta V = \frac{\Delta p}{\kappa \cdot p_0} S dx, \quad (2.2)$$

ebbe helyettesítve:

$$\Delta V = \int_{x=0}^{\frac{\lambda}{4}} d\Delta V = \int_{x=0}^{\frac{\lambda}{4}} \frac{\Delta p}{\kappa \cdot p_0} dx = \frac{S \cdot \Delta p_m \cdot \lambda}{2 \cdot \pi \cdot \kappa \cdot p_0}. \quad (2.3)$$

Ha az  $x=0$ , tehát  $L=0$  helyen egyenlővé tesszük (2.1)-t és (2.3)-t, kapjuk:

$$\frac{\Delta p_m}{v_m} = \frac{\kappa \cdot p_0}{c}. \quad (2.4)$$

A nyomásváltozást  $x=\lambda/4$  helyen nézzük:

$$\Delta p = \Delta p_m \cdot \sin 2\pi \cdot \frac{L}{\lambda}, \quad (2.5)$$

és felhasználjuk az adiabatikus állapotváltozást:

$$\frac{\Delta p}{\Delta V} = \frac{\kappa \cdot p_0}{V}. \quad (2.6)$$

Majd osszuk el az (2.5)-t (2.1)-el, és helyettesítsük be (2.4)-t és (2.6)-t, így kapjuk:

$$\frac{\kappa \cdot p_0}{V} = \frac{\kappa \cdot p_0}{c} \cdot \frac{1}{S \cdot \lambda / 2 \cdot \pi \cdot c} \cdot \tan 2\pi \cdot \frac{L}{\lambda}. \quad (2.7)$$

Vezessük be:

$$\phi = \frac{2 \cdot \pi \cdot L}{\lambda} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot f}{c}, \quad (2.8)$$

$$\text{és} \quad \frac{S \cdot L}{V} = \phi \cdot \tan \phi \text{ összefüggéseket.} \quad (2.9)$$

Ha a szívócső térfogata nagyon kicsi  $V$ -hez képest (Helmholtz-rezonátor előfeltétele), akkor a tangens az argumentumával helyettesíthető (az egyenlet jobb oldalán  $\phi^2$  áll), így megkapjuk a Helmholtz-rezonátor ismert formuláját [5]:

$$f = \frac{c}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{S}{L \cdot V}}. \quad (2.10)$$

### F3. FÜGGELÉK

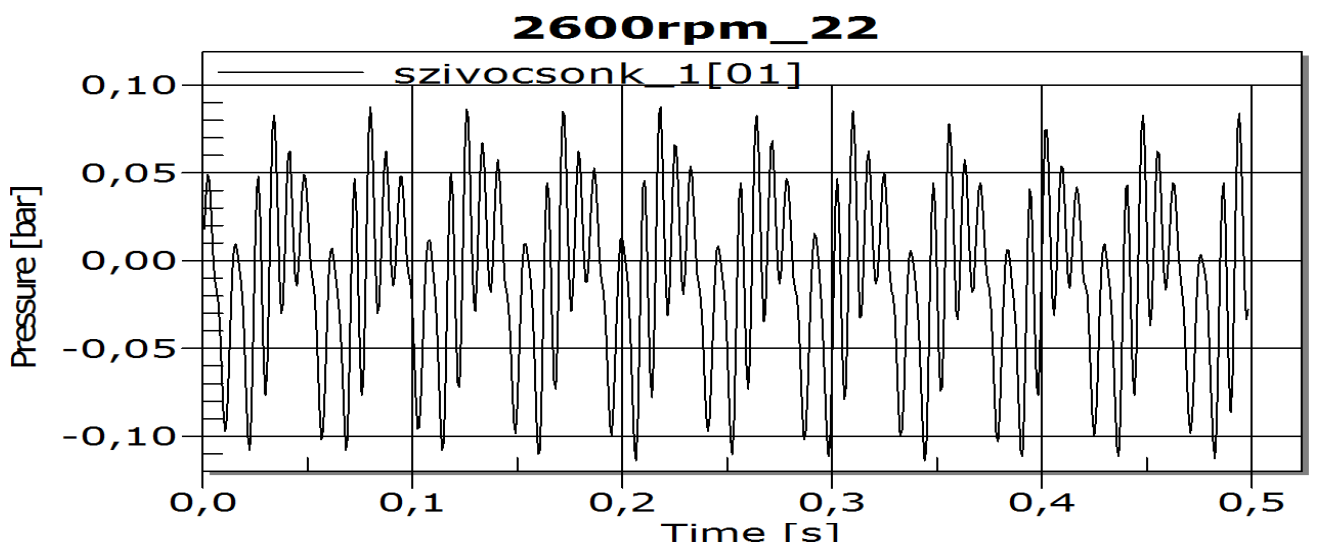
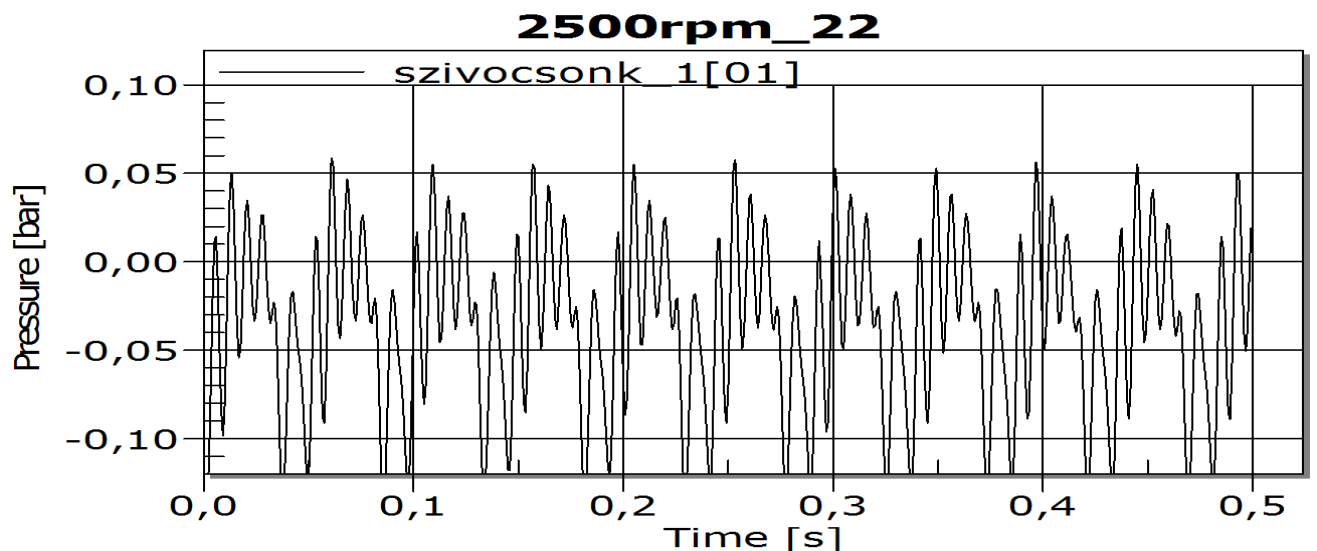
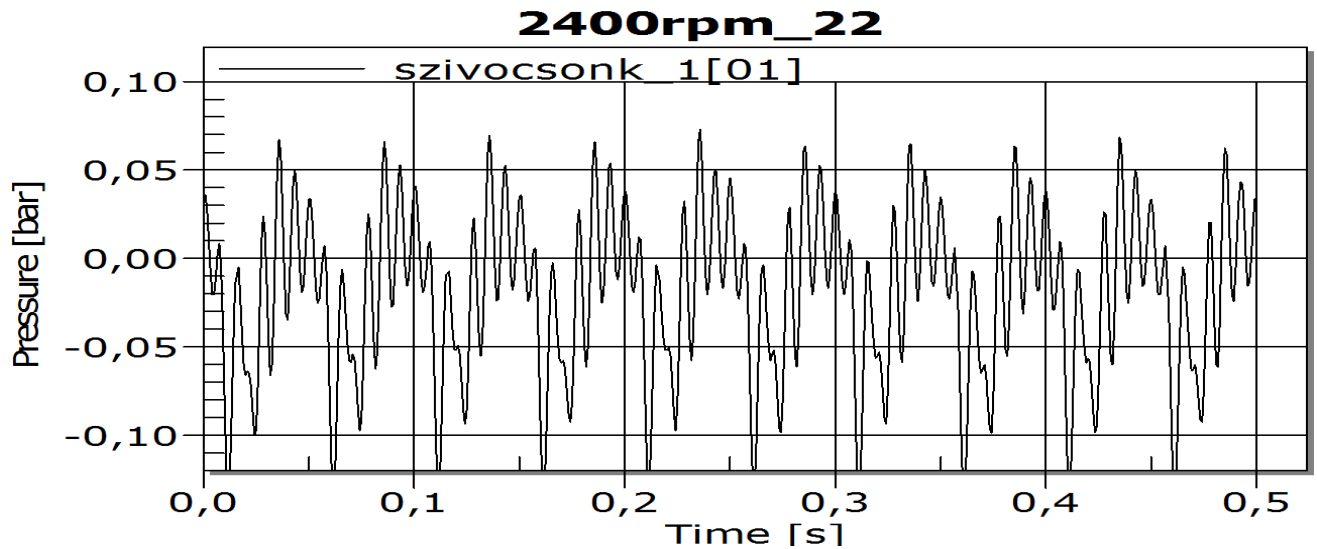
7.2. fejezet: A berendezésre szerelt szenzorok által végzett mérés.

A P11 elnevezésű abszolút nyomásmérő szenzor kezelése a mérés beállításánál végig nehézséget jelentett. Miután az érzékelőt sikerült fizikailag elhelyezni a szívócsövet vizsgáló rendszerben, a mérőkártyán keresztül feldolgozott adatok felismerése szoftveres akadályokba ütközött. A Catman Easy program ugyanis csak azon érzékelők által adott jelet képes kijelezni, amelyek szükséges paraméterei az adatbázisban megtalálhatóak. Ezek a paraméterek határozzák meg a mérőkártya és a szoftver számára, hogyan kezelje az érkező jelet. Sajnos az adatbázis nem tartalmazta előre beállítva a P11-es nyomásmérő adatait, így amikor a csatornán kapott jeleket próbáltam megjeleníteni, akkor hibaüzenet, vagy értékelhetetlen hamis értéket mutatott a kijelző. Egy új, saját paraméterekkel rendelkező szenzor létrehozása volt szükséges. Ehhez először a Spider8 adatgyűjtő mérőkártyáján kellett a PC-n keresztül változtatásokat eszközölni, hogy a nyomásmérő szenzor csatornáján érkező digitális jeleket a megfelelő módon kezelje. Ezt a Spider8 beállításait tartalmazó program tette lehetővé, amelyet a HBM hivatalos honlapjáról le lehet tölteni. A csatornához egy félhidas érzékelőt rendeltem, amelyhez 8 mV/V érzékenységet állítottam be. A mérőkártya beállítása után a jeleket feldolgozó Catman szoftverben kellett létrehozni a virtuális szenzort, amelynek paraméterei a P11-ével egyezik. Egy általános félhidas érzékelőt vettem alapul, amit átmásoltam az adatbázisban a „saját szenzoraim” (My transducers) mappába. Itt a mérőkártyához hasonlóan megváltoztattam az érzékenységet és beállítottam, hogy a kijelzett értéket nyomásként kezelje, azaz bar mértékegységben mutassa, valamint a szenzor nyomástartományát. A változtatások után, a szenzort az általam létrehozott virtuális szenzorral párosítva megjelentek a változó értékek, valós időben. Ezeket megjelenítve összehasonlíthatóvá vált a másik két érzékelő által mért eredményekkel.

## F4. FÜGGELÉK

8.2. fejezet: Nyomásmérési eredményei a HBM mérőegységgel

A szivószelep zárt állapotában létrejövő lengések száma különböző fordulatszámokon. Látható, hogy alacsonyabb fordulatszámon a lengés szakasz tovább tart.



## M1. MELLÉKLET

A tervezett rezonátor megvalósításának lépései mind a 3D-s CAD programban készített elemekkel és az elkészítés során beépített egységekkel bemutatva.

