



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

# **SZEMÉLYAUTÓ LÉGMENNYISÉG-MÉRŐ EGYSÉGÉNEK KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA TRANZIENS ÜZEMÁLLAPOTBAN**

**Knitlhoffer Ádám**  
/WPDBXJ/

Önálló feladat 2.  
/BMEGEÁTMKF2/

Leadva az  
Áramlástan Tanszéken  
2013 májusában

a  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Gépészmérnöki mesterszak / Áramlástechnika szakirány  
képzésben

Témavezető:  
Dr. Suda Jenő Miklós, egyetemi adjunktus

Konzulensek:  
Dr. Suda Jenő Miklós, egyetemi adjunktus

Áramlástan Tanszék  
Gépészmérnöki Kar  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

## NYILATKOZAT

Név: Knitlhoffer Ádám  
Neptun kód: WPDBXJ  
Egyetem: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Kar: Gépészmérnöki Kar  
Tanszék: Áramlástan Tanszék  
Mesterszak / Szakirány: Gépészmérnöki mesterszak (MSc képzés)  
Áramlástechnika szakirány  
Önálló feladat 2. címe: Személyautó légmennyiség-mérő egységének kísérleti vizsgálata tranziens üzemállapotban  
Beadás éve: 2012 / 2013 - II.

Alulírott, Knitlhoffer Ádám (WPDBXJ), a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezü aláírással igazolom, hogy a leadott Önálló feladat 2. jelentés kizárólag saját munkám eredménye, a témavezető útmutatásai alapján meg nem engedett segítség nélkül magam készítettem.

Az Önálló feladat 2. kidolgozásakor csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem, és a szerzői jogi szabályoknak megfelelően kezeltem (a szükséges lábjegyzet / végjegyzet hivatkozásokat, valamint az ábrák hivatkozását megfelelően helyeztem el).

Egyúttal elfogadom, hogy az Önálló feladat 2. jelentésben szereplő tudományos eredményeket a témavezető Tanszéke felhasználhatja további kutatási vagy oktatási célokra.

Budapest, 2013. május 17.

---

(aláírás)

## TÁJÉKOZTATÓ

A mind nyomtatott, mind elektronikus formátumban leadott Önálló feladat 2. Jelentés a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Áramlástan Tanszék könyvtárában (H-1111 Budapest, Bertalan L. 4-6. BME „Ae” épület) érhető el.

## KIVONAT

Belsőégésű motoroknál nem csak teljesítmény, de környezetvédelmi szempontból is fontos ismerni a beporlasztott tüzelőanyaghoz adagolt levegő mennyiségét. A  $\lambda$  légfelesleg tényező megmutatja, hogy az ideális égés megvalósulásához szükséges levegő mennyiségéhez képest mennyi a motorba ténylegesen bejutó levegő mennyisége. Túl sok levegő ( $\lambda > 1$ ) esetén szegény lesz a keverék, ami rontja a hatásfokot, míg kevés levegő esetén ( $\lambda < 1$ ), úgynevezett "dús" keveréket kapunk, ami növeli a motor károsanyag kibocsátását. Ahhoz, hogy a motorvezérlő (ECU) be tudja állítani a megfelelő keveréket, fontos folyamatosan mérnünk a motorba bejutó levegő mennyiségét. Korábban a BME Áramlástan Tanszékén végeztek vizsgálatokat egy személyautó légmennyiség-mérő egységen, de stacionárius üzemiállapotokban. Jelen dolgozatunkban ugyanezen berendezést vizsgáljuk tranziens (pl.: hirtelen gázadás) üzemiállapotban.

## JELÖLÉSJEGYZÉK

$C$	átfolyási tényező [-]
$d$	mérőperem furatátmérője [mm]
$D$	mérőszakasz belső csőátmérője [mm]
$p_{mpe}$	mérőperem előtti nyomás [Pa]
$p_{mpu}$	mérőperem utáni nyomás [Pa]
$\Delta p$	mérőperemen mért nyomásesés [Pa]
$\Delta p_{AFM}$	légmennyiség-mérő előtti mért nyomásesés [Pa]
$U_{lm}$	légmennyiség-mérő feszültsége [V]
$U_{mpe}$	mérőperem előtti nyomástávadó feszültsége [V]
$U_{mpu}$	mérőperem utáni nyomástávadó feszültsége [V]
$q_V$	térfogatáram (mérőperemmel) [dm <sup>3</sup> /h]
$q_{VAFM}$	térfogatáram (légmennyiség-mérővel) [dm <sup>3</sup> /h]
$A$	áramlás által kitöltött keresztmetszet [mm <sup>2</sup> ]
$A_0$	légmennyiség-mérő belépő keresztmetszete [mm <sup>2</sup> ]

### GÖRÖG BETŰS JELÖLÉSEK

$\beta$	mérőperem átmérő viszonya [-]
$\varepsilon$	expansziós szám [-]
$\rho$	áramló közeg sűrűsége [kg·m <sup>-3</sup> ]
$\lambda$	légfelesleg tényező [-]
$\zeta$	belépési veszteség tényező [-]
$\alpha$	szűkítési tényező [-]

### ALSÓ / FELSŐ INDEXEK

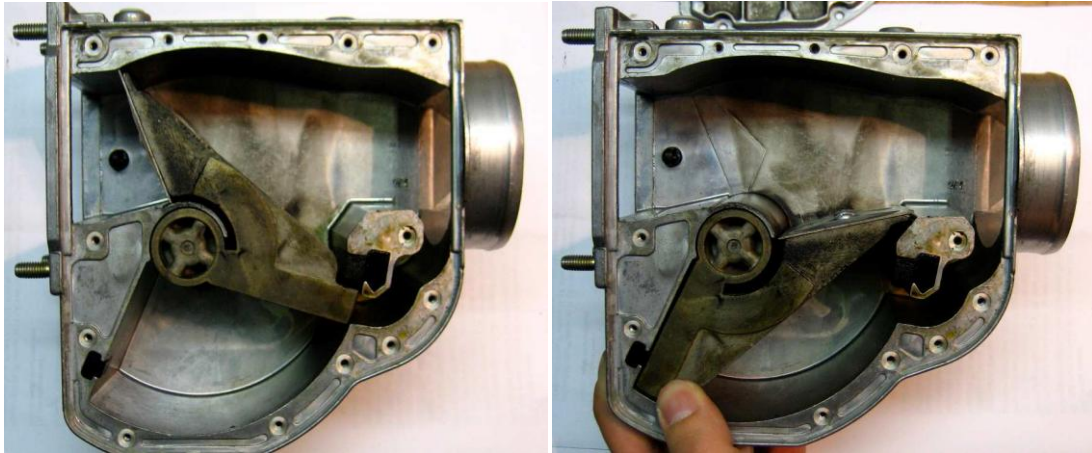
AFM	légmennyiség-mérő (Airflow meter)
mpe	mérőperem előtti
mpu	mérőperem utáni
V	térfogat

# TARTALOMJEGYZÉK

<b>NYILATKOZAT</b>	ii
<b>KIVONAT</b>	iii
<b>JELÖLÉSJEGYZÉK</b>	iv
<b>TARTALOMJEGYZÉK</b>	1
<b>1 MÉRŐBERENDEZÉS</b>	2
1.1 Légmennyiség-mérő	2
1.2 Mérőberendezés vázlata	3
1.3 Fűvó	3
1.4 Pillangószelep	4
1.5 Méréshez felhasznált mérőeszközök	5
1.5.1 Nyomástávadók	5
1.5.2 Nyomás kalibráló eszköz	5
<b>2 MÉRÉS MENETE</b>	6
<b>3 MÉRÉSI EREDMÉNYEK, KIÉRTÉKELÉS</b>	6
3.1 Nyomástávadók kalibrálása	7
3.2 Légmennyiség-mérő kalibrálása	7
3.2.1 Légmennyiség-mérő kalibrációja terelelemmel	8
3.2.2 Légmennyiség-mérő kalibrációja terelelem nélkül	9
3.2.3 Légmennyiség-mérő kalibrációja közös diagramban	10
3.3 Stacioner mérések	10
3.4 Tranziens mérések	12
<b>ÖSSZEFOGLALÁS</b>	15
<b>IRODALOMJEGYZÉK</b>	16

# 1 MÉRŐBERENDEZÉS

## 1.1 Légmennyiség-mérő



**1.1 ábra:** Légmennyiség-mérő zárt (b) és nyitott állapotban (j)

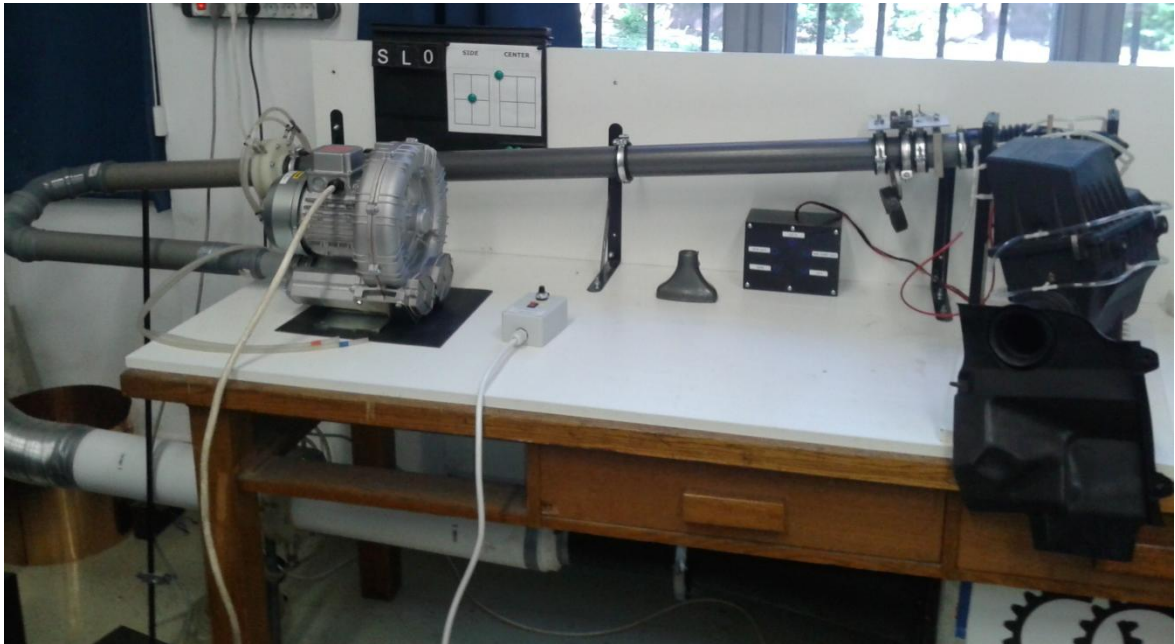
Az *1.1 ábrán* látható légmennyiség-mérőn a balról, jobbra áramló közeg hatására a pillangószelep elfordul. Az áramlás sebességének csökkenése, vagy megszűnése esetén a szelepet egy torziós rugó téríti vissza eredeti helyzetébe. A pillangószelep tengelyéhez kívülről egy potencióméter van csatlakoztatva, mely a szögelfordulással arányos feszültségjelet bocsát ki az ECU felé, ami ebből tudja számolni a motorba beszívott levegő mennyiségét. Stacionáris áramlás esetén már végeztek korábban méréseket ezen a légmennyiség-mérőn. Jelen dolgozatunkban ugyanezen berendezést vizsgáljuk tranziens üzemben.

Az általunk vizsgált légmennyiség-mérő egybe van építve a motor légszűrőházával. A légmennyiség-mérő elé gyárilag be van építve egy légterelő elem (*1.2 ábra*). A korábban az Áramlástan Tanszéken ezen a geometrián elvégzett CFD szimuláció megállapította, hogy terelőelem nélküli esetben az áramlás a légmennyiség-mérőnél beszűkül, míg terelőelemmel az áramvonalak kisimulnak. Vizsgálatunk során ezért terelőelemmel, és anélkül is megvizsgáljuk, mennyiben változnak a mérési eredményeink a két esetben.



**1.2 ábra:** Légszűrőház terelőelemmel (b) és terelőelem nélkül (j)

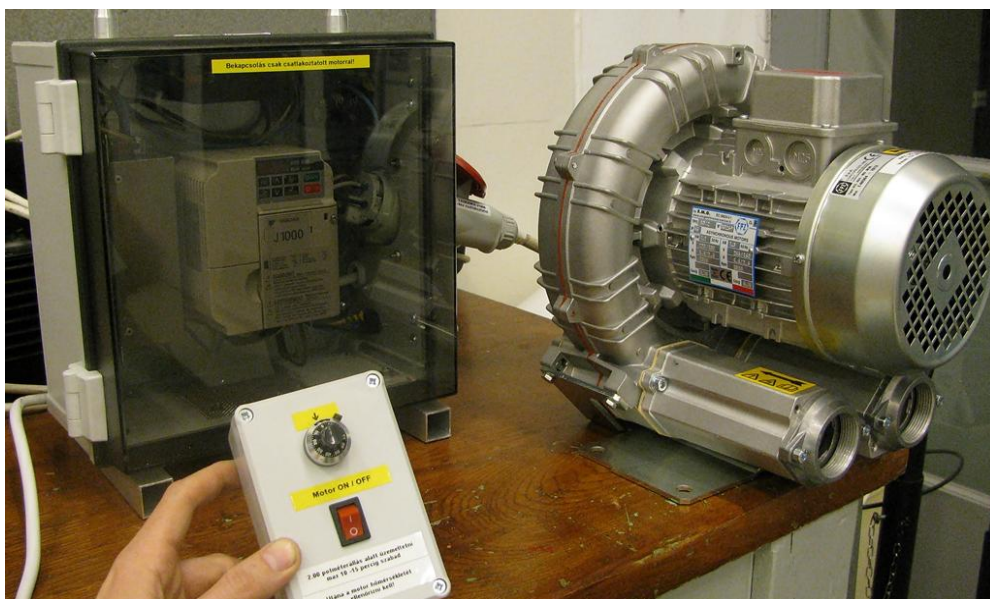
## 1.2 Mérőberendezés



**1.3 ábra:** Mérőberendezés képe

Az 1.3 ábrán látható berendezésen lehet a motor levegőszűrőjével egybeépített légmennyiség-mérő egységen vizsgálatot végezni. A szűrőhöz (jobboldali fekete doboz) csatlakoztatva van egy szabványos mérőszakasszal ellátott mérőperem. A levegőt egy frekvenciaváltóval ellátott fűvó segítségével tudjuk a rendszeren átszívni. A tranziens üzemállapot modellezéséhez beépítésre került egy pillangószelep a szűrő és mérőperem közé. A pillangószelepet egy biztosító szeg kirántásával és súlyok segítségével lehet az előre beállított szöghelyzethez időben gyorsan kitéríteni. Erre azért volt szükség, hogy a hirtelen gázadást modellezni tudjuk, és a mérés reprodukálható legyen.

## 1.3 Fűvó



**1.4 ábra:** Frekvenciaváltóval ellátott fűvó

A mérőberendezés az *1.4 ábrán* látható frekvenciaváltóval ellátott fűvó szívó oldalához van csatlakoztatva. A fűvót egy potméteres távvezérlővel lehet adott munkapontra beállítani.

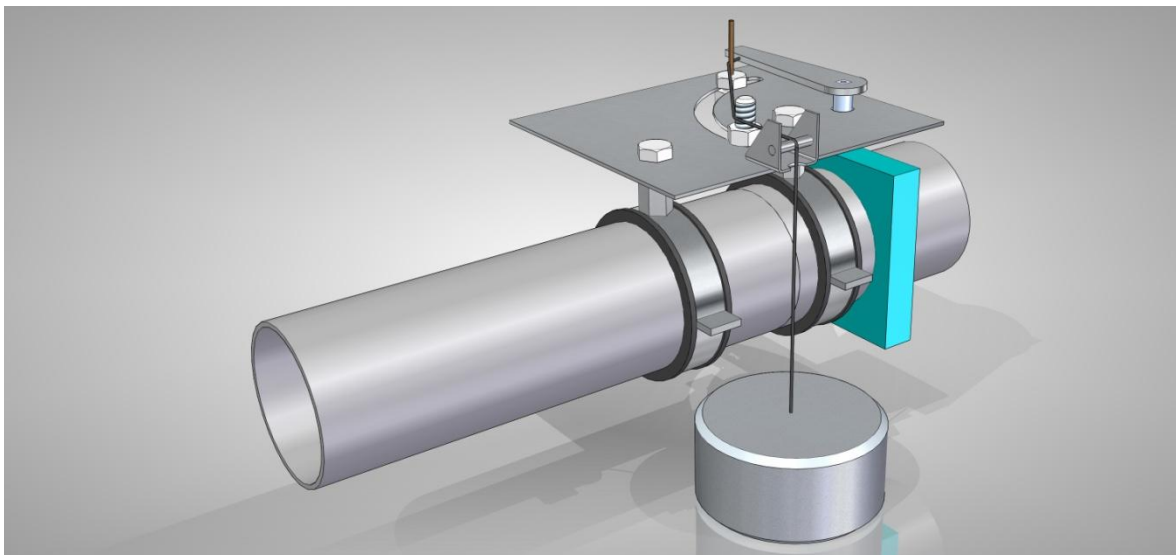
#### 1.2 Táblázat: Nyomástávadók műszaki adatai

Gyártó:	FPZ S.p.A
Típus:	SCL K04-MS MOR 1,1 kW
Gyári szám:	E46564 - 2012
$Q_{v,max}$ :	135 [m <sup>3</sup> /h]
$\Delta p_{max}$ :	200 [hPa]

#### 1.4 Pillangószelep

Jelen dolgozatunk célja a légmennyiség-mérő vizsgálata tranziens üzemállapotban. Ahhoz, hogy egy gyors változást - például egy hirtelen gázadást modellezni lehessen - , az áramló levegő sebességét gyorsan kell növelni. Erre egyszerű megoldást nyújthatna a fűvó fordulatszámának szabályozása, ám nem biztos, hogy reprodukálhatóak a mérések.

Másik lehetőségként felmerült, hogy pillangószelepet építünk a rendszerbe, és a szelep hirtelen nyitásával idézünk elő hirtelen sebességnövekedést. A mérés kivitelezése során törekednünk kellett arra, hogy a mérések reprodukálhatóak legyenek. Ehhez kézenfekvő megoldásnak tűnt szervomotor alkalmazása, ám a kereskedelmi forgalomban kapható motorok még mindig lassan valósítanak meg a nyitást. Végül amellet döntöttünk, hogy a pillangószelepet az *1.5 ábrán* látható módon csigákon keresztül, felfüggesztett súllyal térítjük ki a helyzetéből. A szelep mutatóját egy rögzíthető csavarhoz csatlakozó biztosító szeggel tudjuk rögzíteni adott pozícióban. A szeg kirántásával a súlyerő hatására a szelep kinyílik előre beállítható állásig.



**1.5 ábra:** Súlyerővel nyitható pillangószelep



## 1.5 Mérés során felhasznált mérőeszközök

### 1.5.1 Nyomástávadók

A mérés során három helyen használtunk fel nyomástávadókat. Mértük a mérőperem nyomásesését (1.nyomástávadó), a terelőelem veszteségét (2. nyomástávadó) - azaz a légszűrő utáni és légmennyiség-mérő előtti nyomáskülönbséget-, és mértük a légmennyiségmérő utáni statikus nyomást (3. nyomástávadó).

#### 1.2 Táblázat: Nyomástávadók műszaki adatai

	1. nyomástávadó	2. nyomástávadó	3. nyomástávadó
Típus:	Setra Systems 239/1	Setra Systems 239/2	Setra Systems 239/3
Sorozatszám:	106098	1867110	112565
Mérés határ:	0-3737 Pa	0-1868 Pa	0-1380 Pa
Mérési hiba:	+/- 5 Pa	+/- 5 Pa	+/- 5 Pa
Táp feszültség:	24 VDC	24 VDC	24 VDC
Kimenő jel:	5 VDC	5VDC	5VDC

### 1.5.2 Nyomás kalibráló eszköz

A nyomástávadókat Betz manométer (1.6 ábra) segítségével kalibráltuk. A méréshez felhasznált számítógépes program tartalmazott kalibrációs alkalmazást. Egy fecskendő segítségével nyomást állítottunk elő egy zárt rendszerben, amihez csatlakoztatva volt a kalibrálandó távadó, és a Betz manométer. A manométerről leolvasott nyomás értéket a programban hozzá tudtuk rendelni a nyomástávadó által szolgáltatott feszültséghez.

#### 1.2 Táblázat: Betz manométer műszaki adata

Építéstudományi Intézet, Budapest	M 4-1359
Leltári szám:	6989



1.5 ábra: Betz manométer

## 2 MÉRÉS MENETE

A mérés során adatgyűjtő-kártya segítségével számítógépen rögzítjük a mért adatokat. Nyomástávadók segítségével mérjük a mérőperem nyomásesését, amiből az (1.1) egyenlet alapján számítható a légmennyiség-mérőn átáramló levegő térfogatárama. Mérjük továbbá a légmennyiség-mérő által szolgáltatott feszültségjelet.

$$q_V = C \cdot \varepsilon \cdot \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}} \quad (1.1)$$

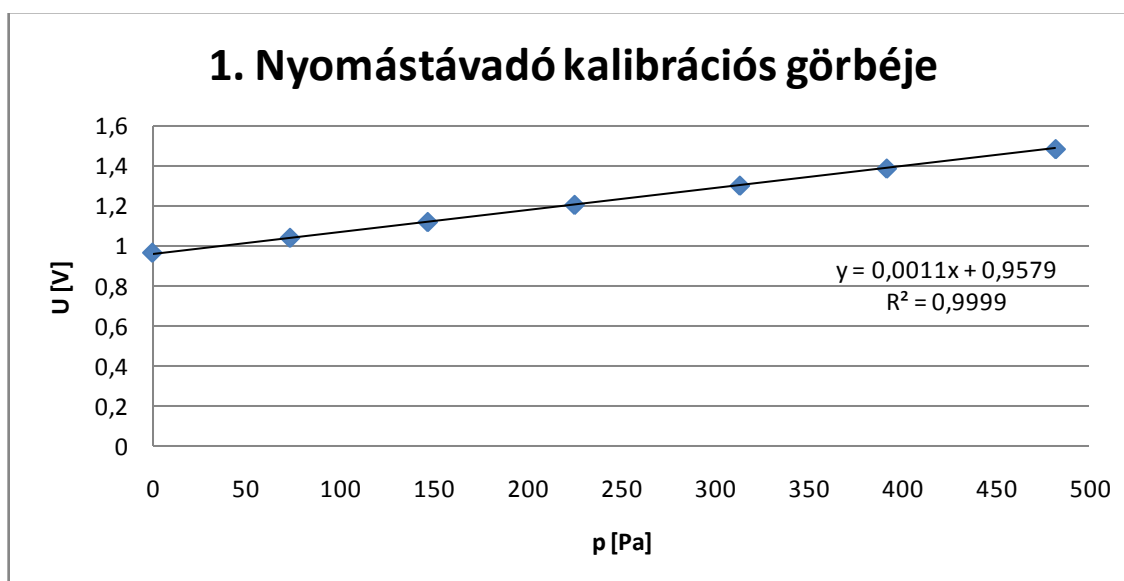
A mérés előtt először a nyomástávadók kalibrációja szükséges. Ezt a tanszéken rendelkezésre álló kalibrációs eszközzel végezzük. A nyomástávadók által szolgáltatott feszültségjeleket hozzárendeljük a hozzájuk tartozó, ismert nyomásértékekhez, így megkapjuk a kalibrációs görbéjüket.

A fűvő segítségével különböző üzemállapotokat hozunk létre, nyitott pillangószelep állásnál. A térfogatáram-mérő feszültségjelét hozzá tudjuk rendelni a mérőperemmel számított térfogatáram értékekhez, így megkapjuk a térfogatáram-mérő kalibrációs görbéjét is.

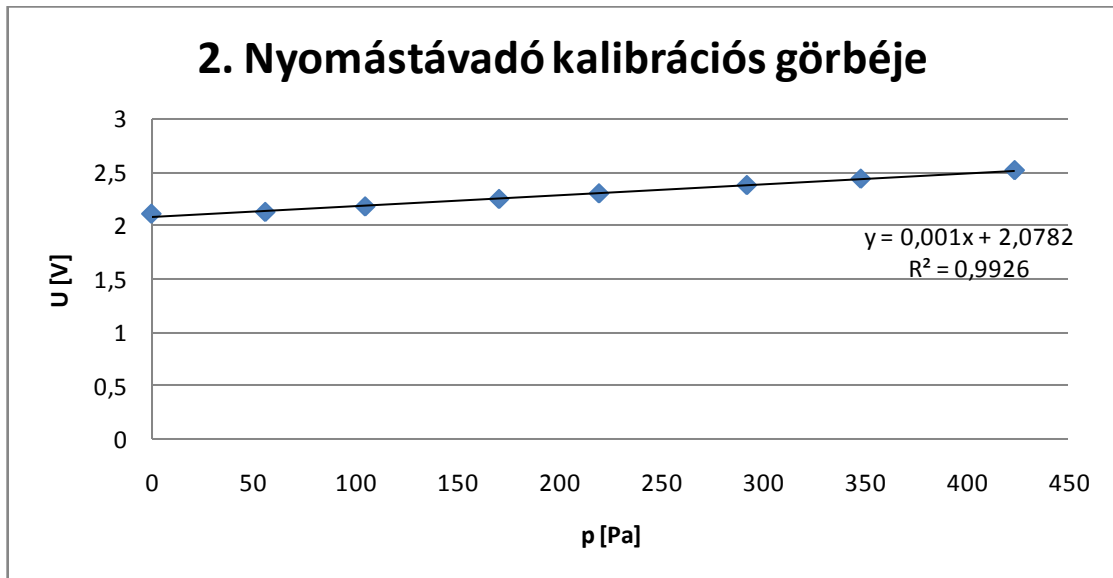
A kalibrációk elvégzése után a fűvőt adott munkapontban üzemeltetve, a pillangószelep megadott állásánál kirántjuk a szelep biztosítószeget. A mérés közben folyamatosan mintavételezzük a mérőeszközök kimenő jeleit. A méréseket terelőelemmel, és terelőelem nélkül is elvégezzük. Mivel a mérés során észrevettük, hogy a pillangószelep (feltehetőleg tömítetlenség miatt) nem tudta a teljes mérési tartományban megfójtani a rendszert, ezért másik mérési módszerhez folyamodtunk. A frekvenciaváltó pótméterét tekerve - a korábban lemért motor alapjáratához beállítva, és a maximális fordulatszámhoz tartozó térfogatáramig - több alkalommal, megfigyeltük, hogy a villamosmotor felfutása azonos. Így a tranziens mérés során ezt a módszer alkalmaztuk.

## 3 MÉRÉSI EREDMÉNYEK, KIÉRTÉKELÉS

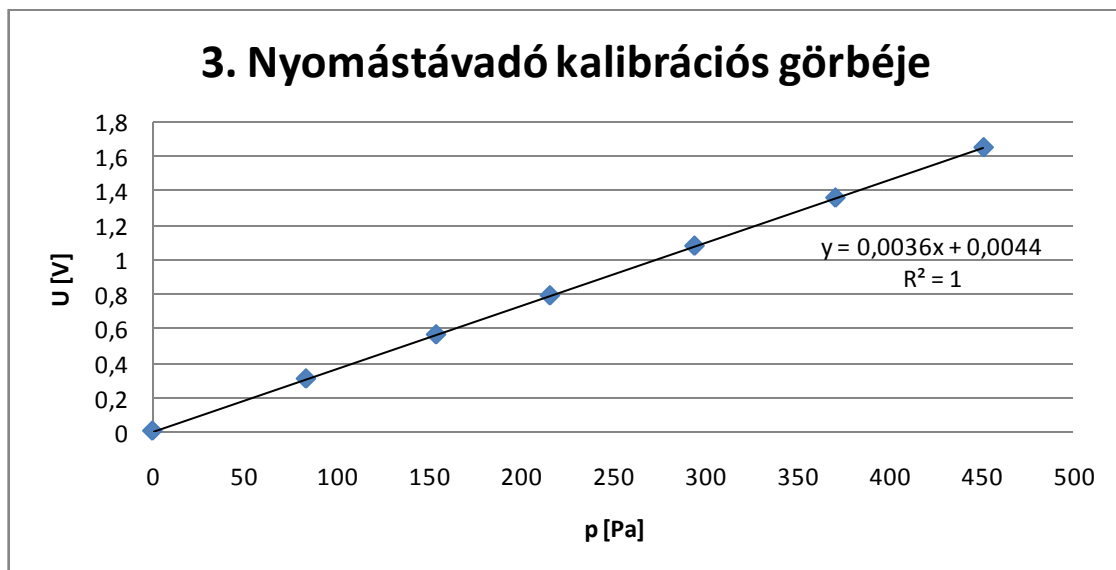
### 3.1 Nyomástávadók kalibrálása



**3.1 diagram:** 1. nyomástávadó kalibrációs görbéje



3.2 diagram: 2. nyomástávadó kalibrációs görbéje

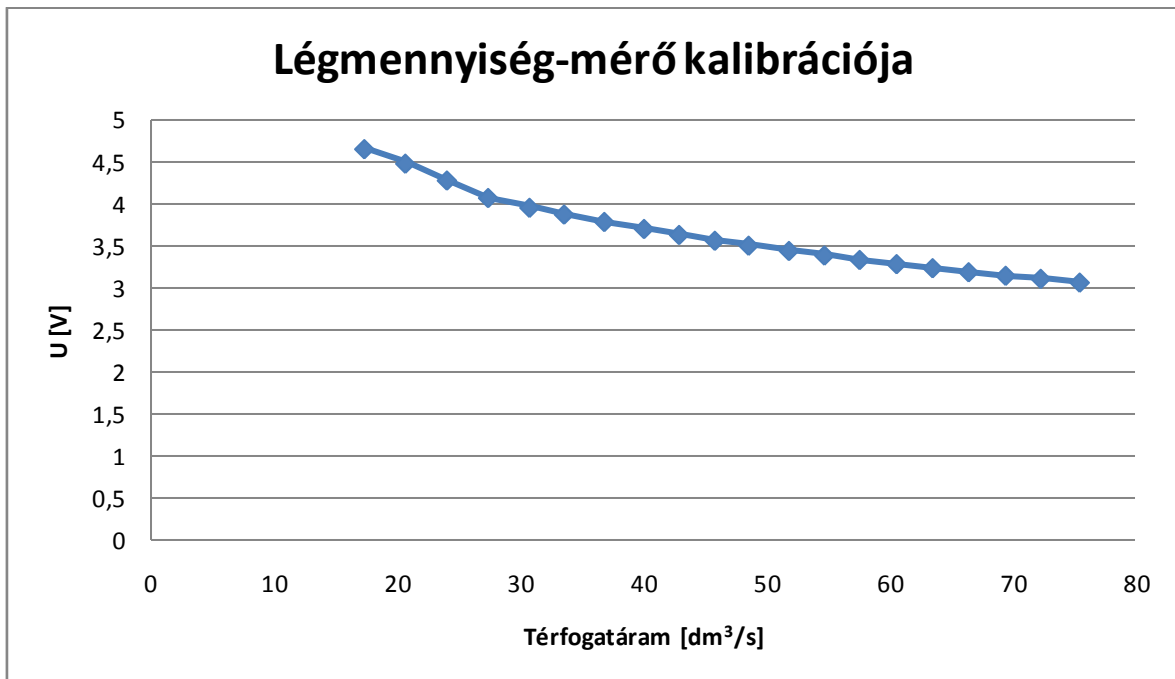


3.3 diagram: 3. nyomástávadó kalibrációs görbéje

## 3.2 Légmennyiség-mérő kalibrálása

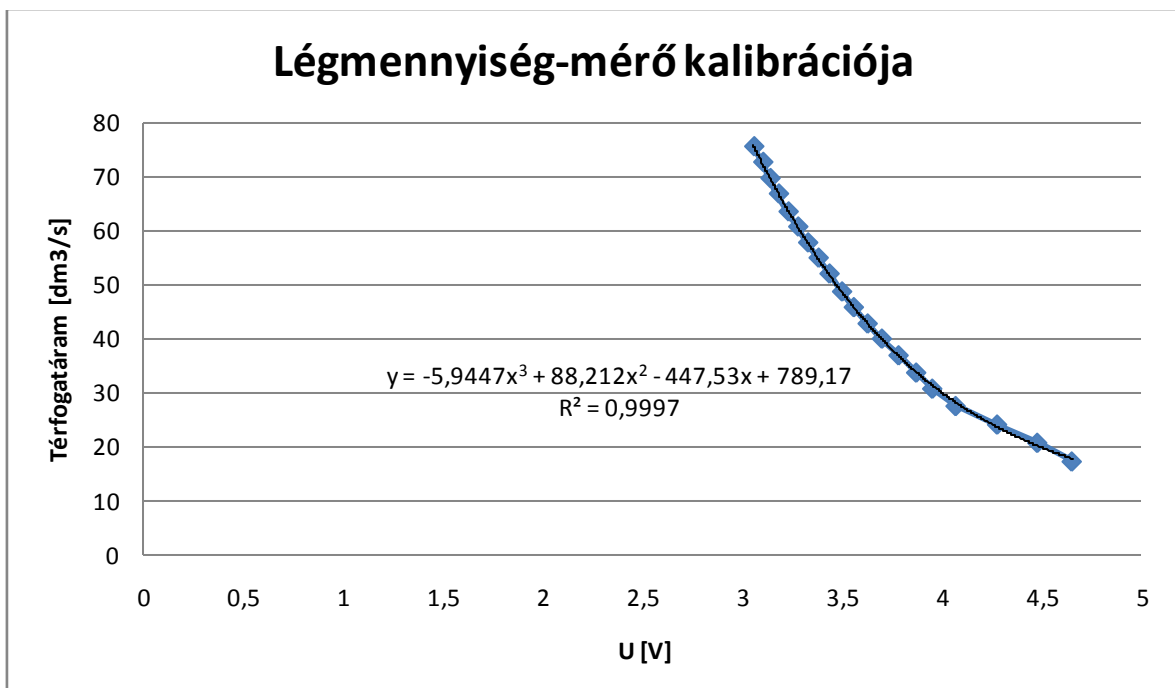
A légmennyiség-mérő kalibrációját stacioner üzemben vettük fel. A frekvenciaváltó potméterének segítségével több különböző üzemállapotban összerendeltük a mérőperem nyomáseséséből számolt térfogatáram értéket a légmennyiség-mérő kimenő feszültségjelével. A kalibrációt terelőelemmel, és anélkül is elvégeztük.

## 3.2.1 Légmennyiség-mérő kalibrációja terelőelemmel



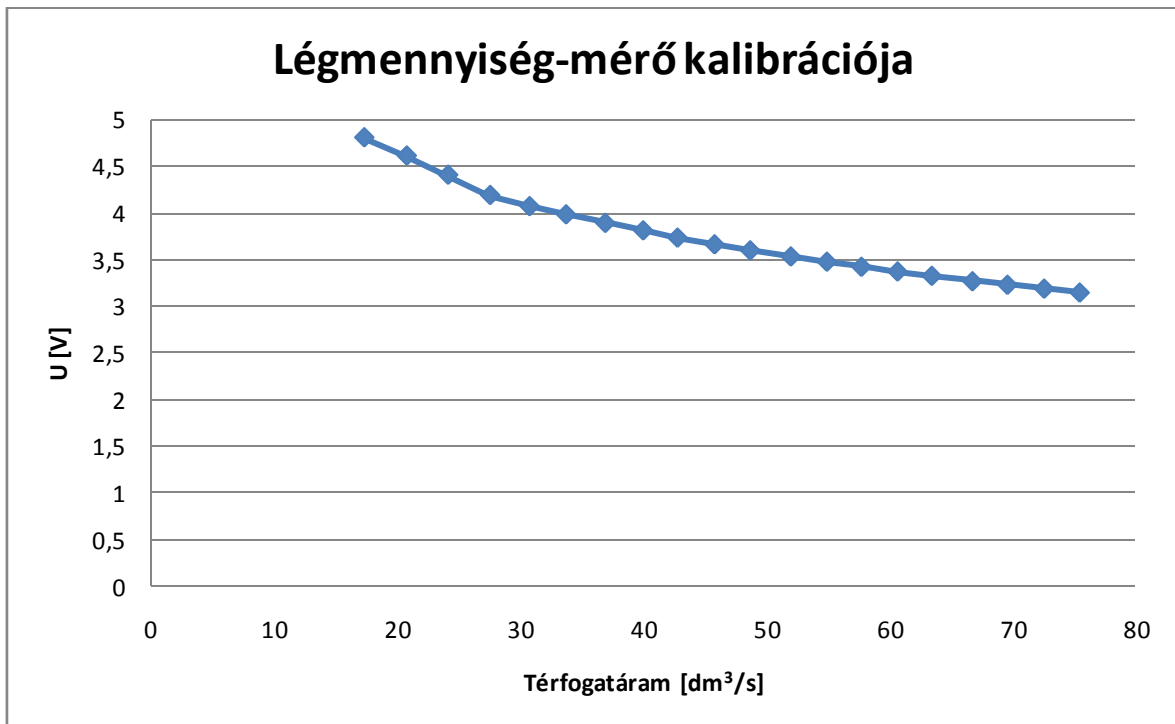
3.4 diagram: AFM kalibrációs görbéje stationer üzemben terelőelemmel

Ahhoz, hogy a későbbiekben a kimenő feszültségből tudjunk térfogatáramot mérni a 3.4 diagram inverzére, vagyis a 3.5 diagramra van szükségünk. A diagramról leolvasható a mérési pontokat közelítő regressziós görbe egyenlete.



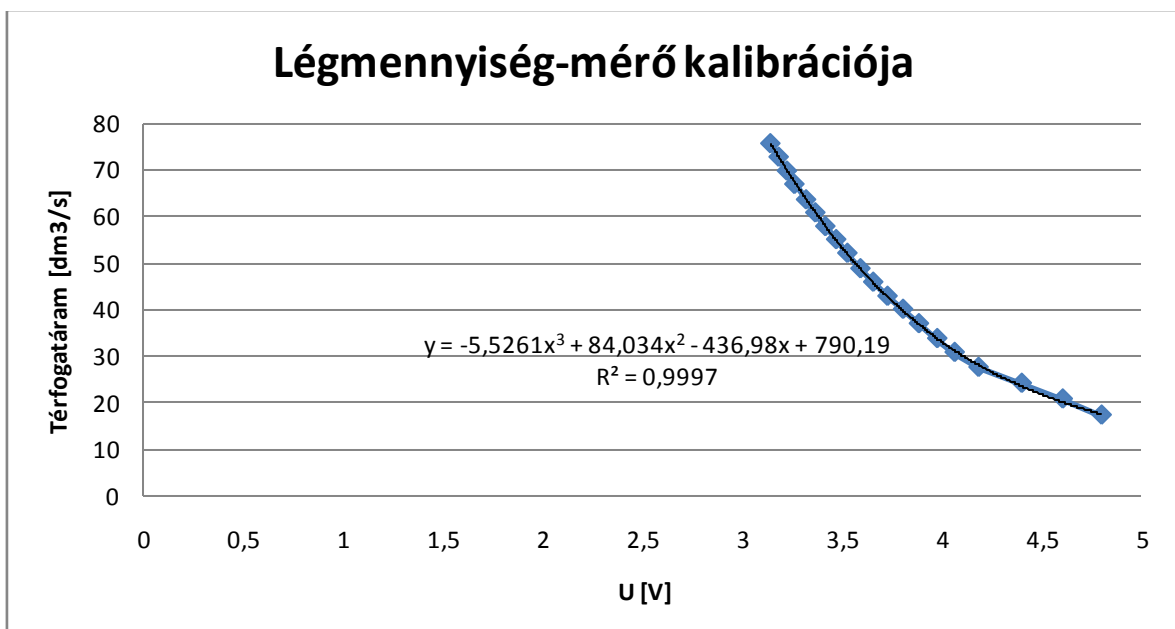
3.5 diagram: AFM kalibrációs görbéje stationer üzemben terelőelemmel

### 3.2.2 Légmennyiség-mérő kalibrációja terelőelem nélkül



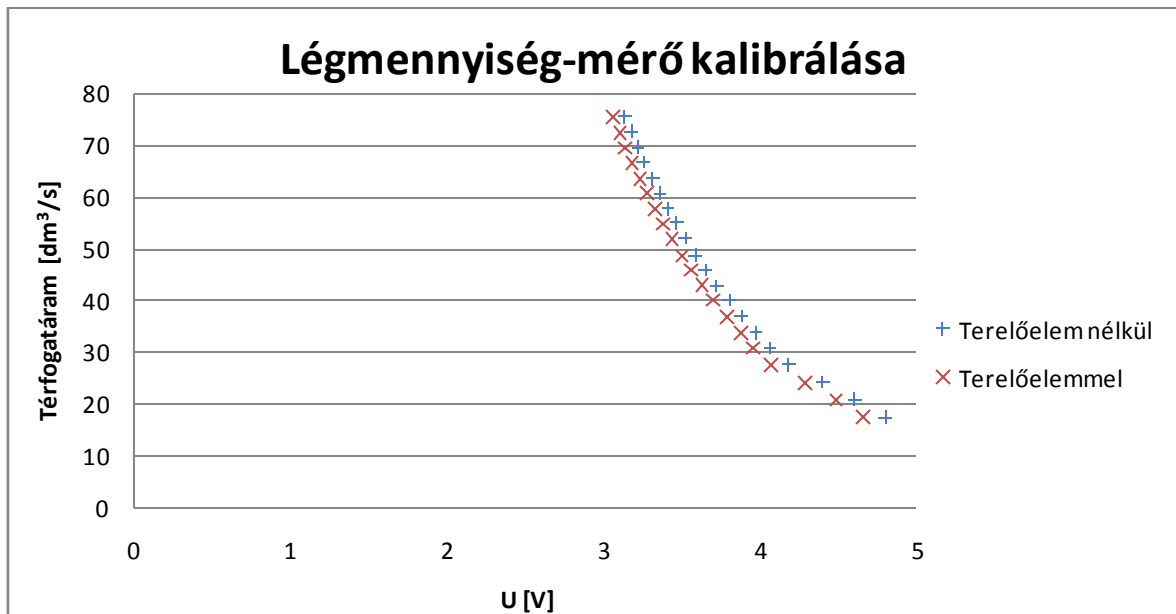
**3.6 diagram:** AFM kalibrációs görbéje stationer üzemben terelőelem nélkül

Ahogy a 3.5 diagramnál is, ebben az esetben is a 3.6 *diagramra* inverzére (3.7 *diagram*) van szükségünk, hogy a kimenő feszültségjelből térfogatáram értéket kapjunk.



**3.7 diagram:** AFM kalibrációs görbéje stationer üzemben terelőelem nélkül

### 3.2.3 Légmennyiség-mérő kalibrációja közös diagramban



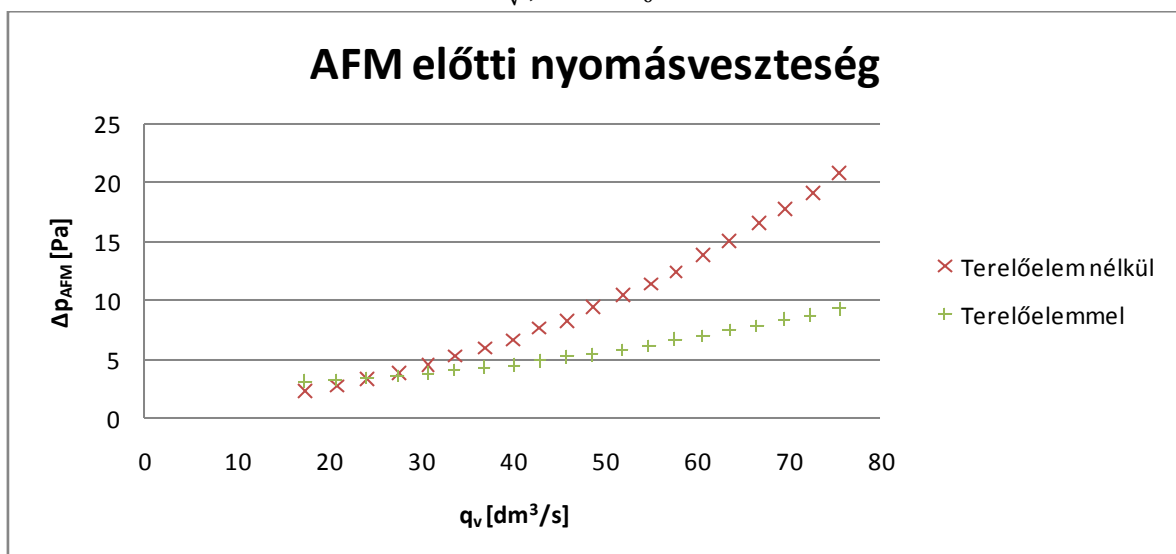
3.8 diagram: AFM kalibrációs görbéi stacioner üzemiállapotban

### 3.3 Stacioner mérések

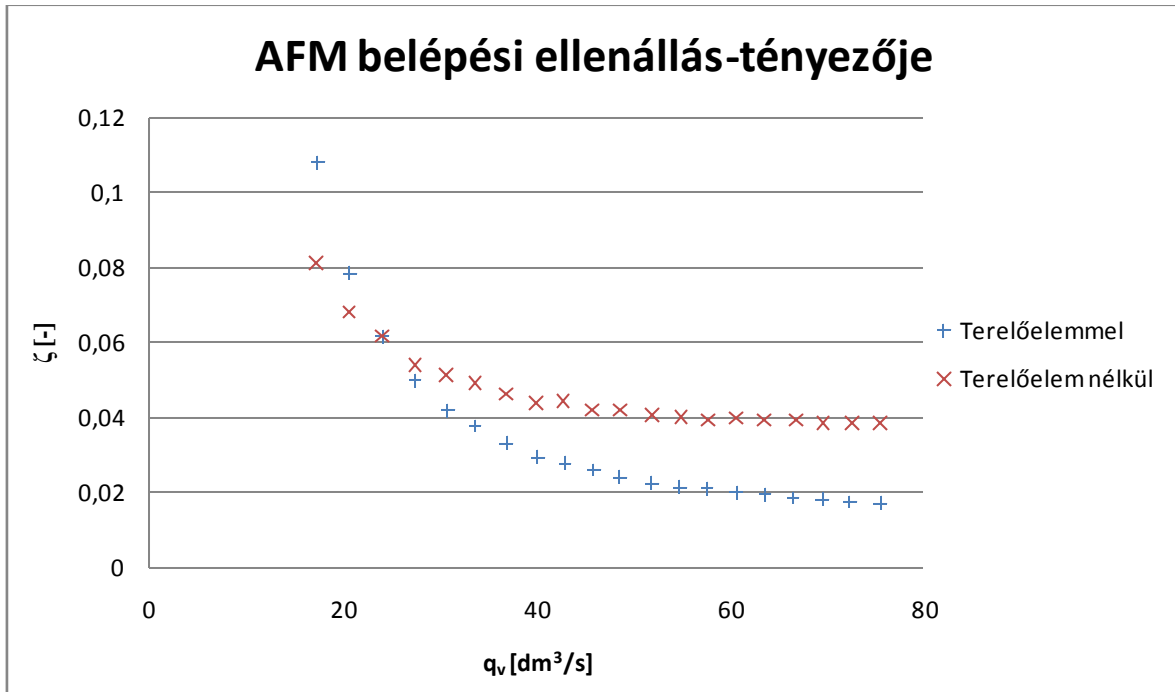
Mivel a korábbi vizsgálatok során elvégzett CFD szimuláció rávilágított, hogy terelőelem segítségével nagyban lecsökkenthető a légmennyiség-mérő belépésénél keletkező keresztmetszet szűkülés, ezért a mérésünk során ezzel is foglalkoztunk. Mértük a légszűrő utáni, és az AFM belépési nyomásának különbségét. Ebből meghatározható a belépési nyomásvesztés ( $\Delta p_{be}$ ), a belépés veszteségtényezője (1.2), illetve a keresztmetszet szűkítési tényezője (1.3).

$$\zeta = \frac{\Delta p_{be}}{\frac{\rho}{2} \cdot v^2} \quad (1.2)$$

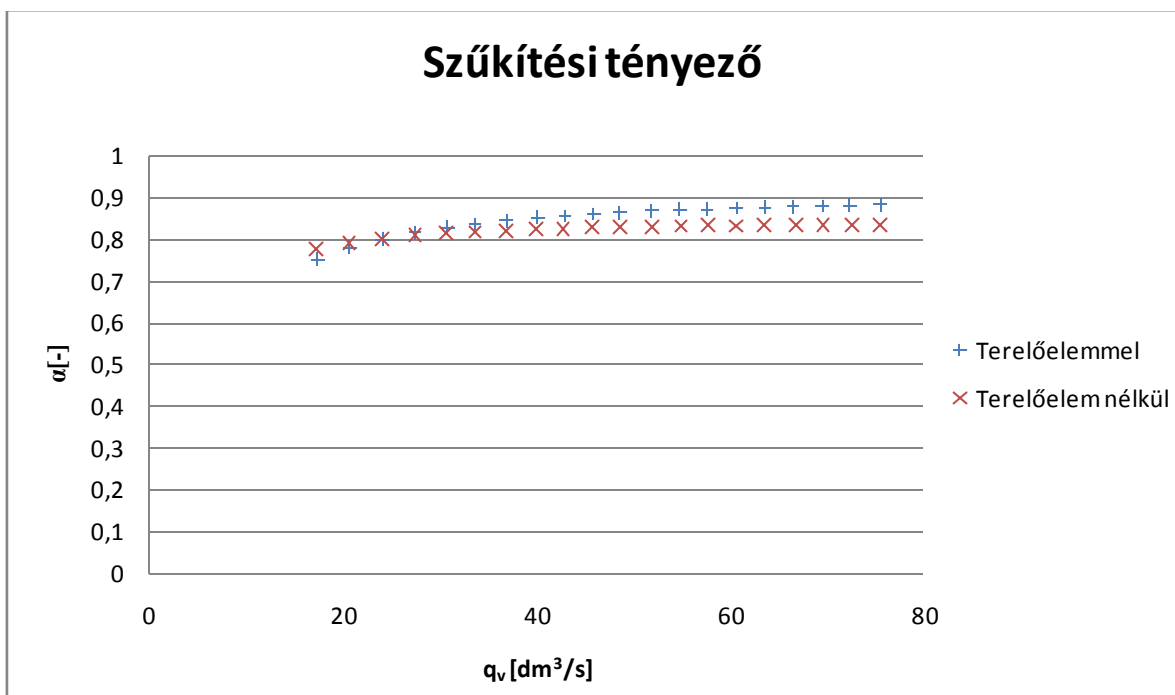
$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{\zeta} + 1} = \frac{A}{A_0} \quad (1.3)$$



3.9 diagram: AFM előtti nyomásvesztés stacioner üzemiállapotban



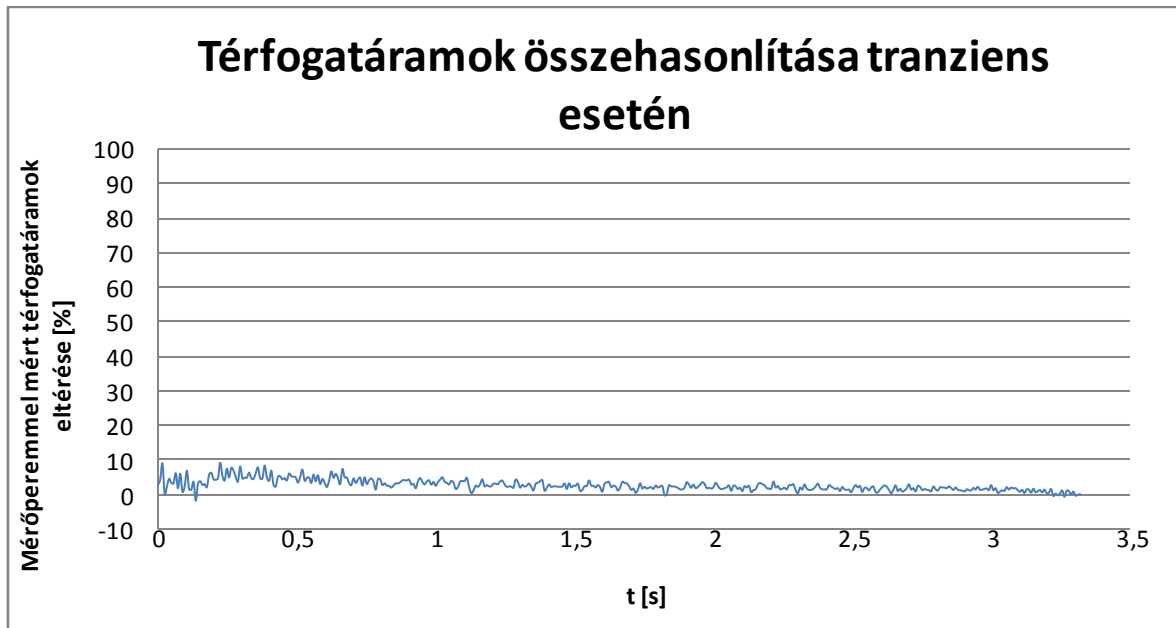
3.10 diagram: AFM belépési ellenállás-tényezője stacioner üzemben



3.11 diagram: AFM szűkítési-tényezője stacioner üzemben

### 3.4 Tranziens mérések

Mint már korábban említettem - mivel nem sikerült a pillangószeleppel a teljes térfogatáram tartományon megfójtani a rendszert, ezért - a tranziens méréseket a potméter szabályozásával oldottuk meg. A méréseket elvégeztük terelőelemmel, és terelőelem nélkül is. A mintavételezést 1000 Hz-es frekvenciával végeztük. A 3.12 diagramon látható a térfogatáram felfutása során a terelőelemmel, és a terelőelem nélküli esetekben a térfogatáramok százalékos eltérése az idő függvényében. Az eltérés mértéke 10% alatti, látható, hogy a potméteres szabályozással közel azonos felfutást tudtunk létrehozni.



3.12 diagram: Felfutás során a térfogatáramok eltérése terelőelemmel, és terelőelem nélküli esetben

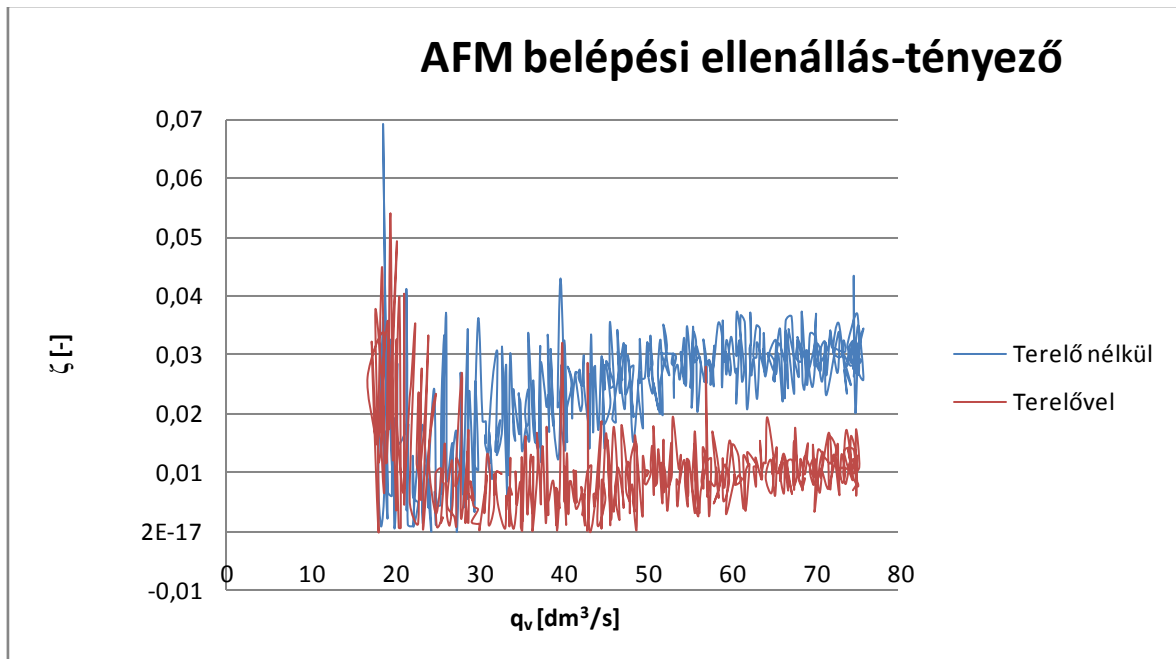
A 3.13 diagramon ábrázoltuk a légmennyiség-mérő által és a mérőperemmel mért térfogatáram értékek eltéréseit. Látható, hogy a kapott görbék csak a terelő nélküli esetben térnek el számottevően (~10%) a mérőperem által mért értékektől.



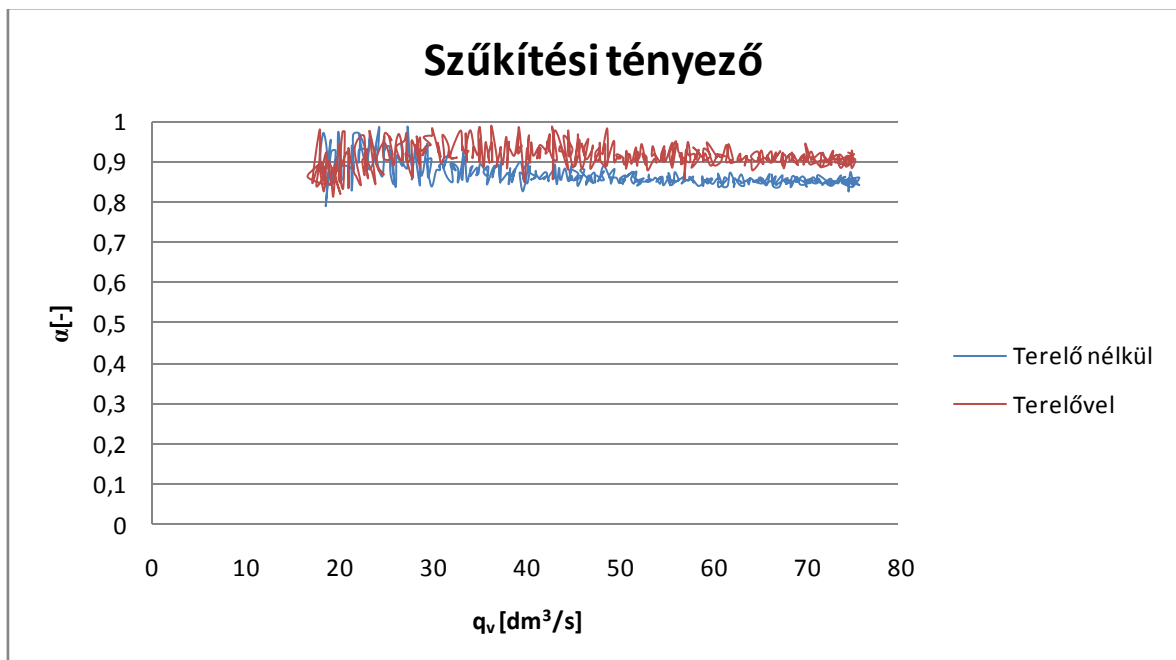
3.13 diagram: Mérőperemmel és AFM-mel mért térfogatáramok eltérései



A 3.14 diagramon az (1.2) egyenletből számolt ellenállás-tényező értékei szerepelnek. A sok mérési adat, és a mérést terhelő hiba miatt nagy az ingadozás, de ha a pontok súlypontját nézzük, látható, hogy a stacioner üzemhez képest nagyságrendileg azonosak az ellenállástényezők értékei.



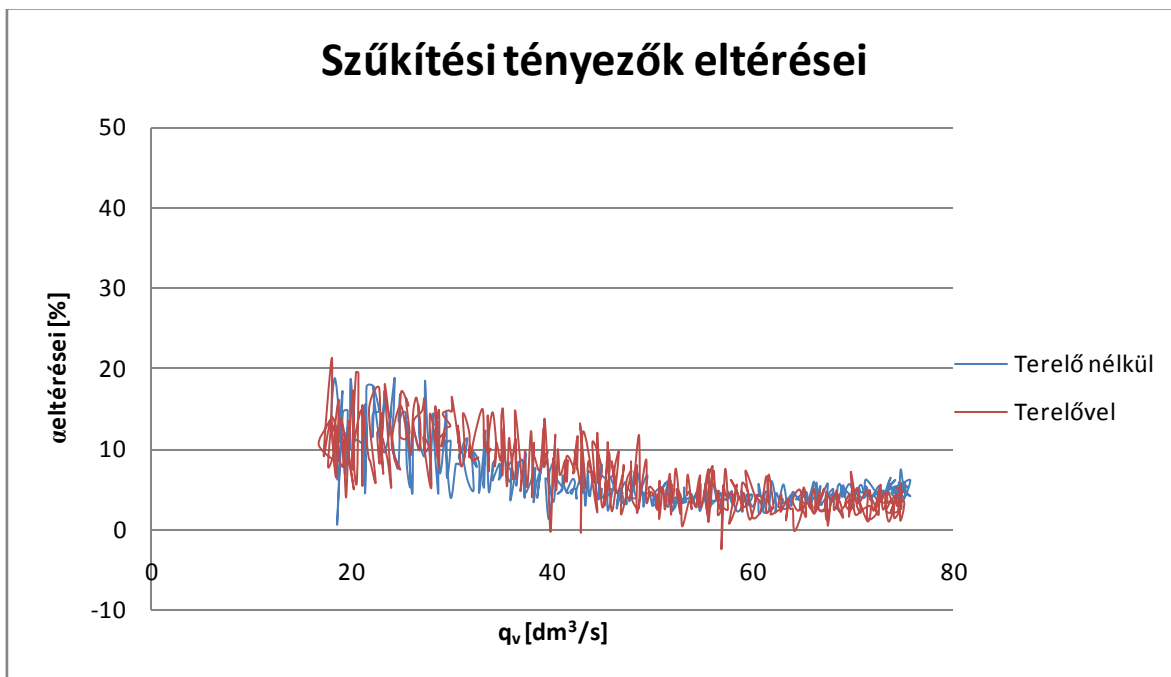
3.14 diagram: Ellenállás-tényezők tranziens esetén



3.15 diagram: Szűkítési-tényezők tranziens esetén

A 3.15 diagramon a szűkítési tényezők értékei láthatóak tranziens esetén. Látható, hogy a terelővel ellátott esetben nagyobbak a szűkítési tényező értékei, tehát az áramlás által kitöltött keresztmetszet értéke sokkal közelebb van a légmennyiség-mérő eredeti keresztmetszetének értékéhez.

A 3.16 diagramon ábrázoltuk a szűkítési tényezők százalékos eltéréseit a stacioner és a tranziens üzemállapotok között, terelő, és terelő nélküli esetre is.



3.16 diagram: Szűkítési tényezők eltérései stacioner és tranziens üzemállapotban.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen dolgozatunkban egy személyautó légmennyiség-mérő egységét vizsgáltuk. A vizsgálat során kalibráltuk a mérőeszközöket, magát a légmennyiség-mérőt is. Stacioner üzemállapotban meghatároztuk a légmennyiség-mérő előtti belépési veszteségeket a légszűrőház saját terelőelemével, és anélkül is. Ezután egy hirtelen gázadást modellezve vizsgáltuk, hogy tranziens esetén hogyan változnak a mennyiségek. Megállapítható, hogy tranziens esetén a terelőelemmel sokkal kisebb mértéken szűkül be az áramlási keresztmetszet ( $\alpha \sim 0,9$ ), de így is van keresztmetszet szűkülés a légmennyiség-mérő belépő keresztmetszeténél, míg a terelőelem nélküli esetben nagyobb beszűkülés figyelhető meg ( $\alpha \sim 0,85$ ).

Továbbá azt is észrevehetjük, hogy a terelőelemmel ellátott esetben a mérőperemmel mért térfogatáram értékek közel azonosak a légmennyiség-mérővel mért térfogatáram értékekkel, az eltérés közel 0%, míg terelőelem nélküli esetben van egy kis eltérés, kb. 5%. Ez egyrészt adódhat abból, hogy a stacioner mérés során elvégzett kalibrációkor hibát vittünk be a rendszerbe, de lehet attól is, hogy a terelőelem nélküli belépés során a keresztmetszet nagyobb beszűkülése nagyobb mérési hibát okoz a légmennyiségmérőn.

Mivel a mérésünk során nem tudtuk lemérni - a rendelkezésünkre álló mérőeszközök hiányában - a teljes fordulatszám tartományhoz tartozó térfogatáram tartományt, ezért további mérések során érdemes lenne a mérést a teljes tartományra kiterjeszteni.

Érdemes lenne még megvizsgálni azt az esetet is, hogy a légmennyiség-mérő belépési oldalán elhelyezett nyomásmérési pontok mennyire eshetnek bele a leválási zónába, és hogy ez milyen mértékű eltérést okozhat a veszteség-tényezők értékében.

## **IRODALOMJEGYZÉK**

BORIÁN, M. (2011) Experimental investigation on the air flow meter of a passenger car (Final project)

KORIK, Z. (2011) Numerical investigation on the upstream flow condition of the air flow meter in the air intake assembly of a passenger car (Final project)

Személyautó szívórendszerének áramlási vizsgálata ( Mérés segédlet)