

A várható szubjektív hőérzet és egy mérőállomás

TDK



Szerző: Kis Máté
Szalai Dóra

Konzulensek: Dobszay Gergely
Bakonyi Dániel
Orbán Tamás

Tanszék: Épületszerkezettan tanszék

2015.10.27.

Tartalom

Bevezetés.....	3
Hőkomfort elmélet	5
A mérőállomás felépítése	12
Kalibrálás	15
A páratartalom érzékelők kalibrálása	15
A termo anemométerek kalibrálása.....	21
A sugárzás hőmérő és kalibrálása	32
A komplett mérőállomás összevetése a Hőfizika Labor PMV állomásával	33
Demonstrációs mérés	39
A kutatás további menete	43
Köszönetnyilvánítás	44
Hivatkozás.....	45

Bevezetés

Napjainkban egyre nagyobb figyelmet követel magának az épületenergetika ill. a gazdaságos és tudatos energiafelhasználás. Nem csak fűtésre, de a meleg hónapokban hűtésre is egyre több energiát használunk fel. Emiatt fontos, hogy alternatív megoldásokkal segítsük csökkenteni a megfelelő belső téri légállapot elérésének energiaszükségletét.

A mai világban az emberek átlagosan idejük 90%-át zárt terekben töltik, ezért kiemelkedően fontos, hogy milyen komfortot biztosítanak nekik ezek a terek. Ma a komforttal foglalkozni kell, erre vannak módszerek, de sokszor idegen egy építészhallgató, és sokszor praktizáló építészek számára is, ezért mi célul tűztük, hogy megfoghatóbbá tesszük mindenki számára, és építünk egy berendezést, amivel tudjuk mérni a paramétereiket, és a kapott adatokat kiértékelve szemléletesen tudjuk ábrázolni az adott helység komfortkörülményeit. Be szeretnénk bizonyítani, hogy az általunk létrehozott berendezés is képes az épületszerkezettani kutatásoknak megfelelő pontosságú adatokkal szolgálni. Hosszú távú célként pedig a mért adatokat felhasználva szeretnénk vezérelni egy energetikai és hőérzeti szempontból ideálisan működő árnyékoló rendszert.

Az általunk készítetthez hasonló mérőberendezés kereskedelmi forgalomban is kapható, viszont ennek ára túl magas (több mint 1 millió Ft) egy TDK kutatáshoz. Az egyetem épületfizika laborjában található egy ilyen mérőeszköz, de mivel ilyen drága, nem adhatják oda diákoknak. Ezért mi egy jóval olcsóbb (az eredetinek kb. 10-15%) és egy érdeklődő, építészhallgató számára is elérhető elemekből szereltünk össze hasonló pontosságú PMV mérőállomást. Ezt az eszközt akár további oktatási célú kutatásban is fel lehet majd használni. A PMV egy olyan index ami megmutatja, hogy az adott környezeti légállapot paramétereit átlagosan milyen hőérzetet váltanak ki a helységben tartózkodókban. A következő képlet alapján számítható:

$$\begin{aligned} \text{PMV} = & (0,303e^{-0,036M} + 0,028)((M - W) - 3,96E^{-8}f_{cl}((t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4) - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \\ & - 3,05(5,73 - 0,007(M - W) - p_a) - 0,42((M - W) - 58,15) - 0,0173M(5,87 - p_a) - \\ & 0,0014M(34 - t_a) \end{aligned}$$

Ahol:

e: Euler szám (2,718)

f_{cl} : ruházattól függő tényező

M: anyagcsere ráta (115W/m^2)

P_a : a levegő vízgőz nyomása

t_a : léghőmérséklet

t_{cl} : a ruházat felületi hőmérséklete

t_r : átlagos sugárzási hőmérséklet

V : légsebesség

W : külső munka (0)

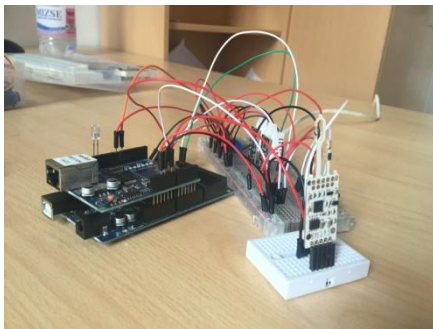
$$f_{cl} = 1,0 + 0,2I_{cl}$$

$$R_{cl} = 0,155I_{cl}$$

$$h_{cl} = 12,1(V)^{1/2}$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,0275(M - W) - 3,05(5,73 - 0,007(M - W) - p_a) - 0,42((M - W) - 58,15) - 0,0173M(5,87 - p_a) - 0,0014M(34 - t_a)$$

Fontos szempont volt, hogy a mérés során ne csak adatokat lássunk, hanem az elemenkénti összerakásnak köszönhetően megértsük a működési elvet is.



2. Kép



1. Kép

Továbbá az is lényeges volt, hogy egy olyan eszközt hozzunk létre, ami kötöttségek nélkül telepíthető. Egy gyári mérőállomás az értékéből adódóan csak rövid, időszakos mérésekre alkalmas, állandó felügyeletet vagy biztonságos zárt teret feltételezve. A mi állomásunk azonban oktatási célokra is használható. Például egy labor óra keretében bárki működtetheti, illetve hosszú mérések esetén akár magára hagyható és internetkapcsolattal bárholnan nyomon követhetőek a mért értékek. A mérőállomásunk méri a hőmérsékletet, páratartalmat, sugárzó hőt és a légsebességet.

Hőkomfort elmélet

Ole Fanger valamint Bánhidi László munkásságával alakult ki a hőkomfort tudományterülete.

P. O. Fanger (1934-2006) az International Centre for Indoor Environment and Energy (Belső Környezet és Energia Nemzetközi Központ) vezető professzoraként a nemzetközi szabványosítás megalkotásán munkálkodott.¹ Bánhidi László, aki a mai napig a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem nyugalmazott professzoraként tevékenykedik, kutatásai során szintén a komfortelmélettel kapcsolatos tételeket vizsgálta. Tevékenységeiről munkatársával közösen írt könyvében olvashatunk.²

A következő fejezet a fent említett kutatók gondolatmenetei és eredményei alapján készült.

Mindössze néhány évvel korábban került előtérbe, hogy az ember-épület-energia kapcsolatrendszer komplexen kezdjük vizsgálni. Mivel az épületek létrehozása főként az emberi igények kielégítése miatt történik, ezért fontos, hogy az emberi igények lehetséges kielégítésének hatásait egységesen kezeljük.

A legtöbb ember élete kb. 80%-át (a legújabb kutatások szerint néhol ez akár 90% is lehet) zárt terekben tölti. Éppen ezért elengedhetetlen fontosságú, hogy a zárt terek optimális körülményeket biztosítsanak. Egyrészt szolgáltatniuk kell a szellemi és fizikai munkavégzés optimális körülményeit, ill. megfelelő környezetet a szórakozáshoz, kikapcsolódáshoz, pihenéshez, regenerálódáshoz.

A belső tereink kialakítása rendkívül összetett. Ezért fontos, hogy már a tervezés első lépéseitől kezdődően a lehetőségek szerinti legtöbb szakembert vonjunk be és közös erővel próbáljunk eleget tenni a majdani felhasználók igényeinek. A tervezés alatt szem előtt kell tartani az éppen aktuális energiagazdálkodási törekvéseket, hiszen azok merőben befolyásolhatják az emberek köz- és komfortérzetét kialakító mikroklíma-paraméterek értékeit. Sajnos ez a befolyás általában nem előnyként könyvelhető, mivel a komfortigények és a gazdasági törekvések optimumai sokszor ellentétesek.

Ebből következik, hogy egy tervezési feladatnak része kell legyen egy optimum számítási feladat megoldása, amely választ ad az emberi komfort és gazdasági paraméterek megfelelő kielégítésére. Ehhez azonban számtalan információt vagyunk kénytelenek megtudni a hatást gyakorló tényezőkről.

¹ [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Povl_Ole_Fanger

² [1] Bánhidi László – Kajtár László: Komfortelmélet. Műegyetemi Kiadó, ISBN 963 420 633, (2000)

A szakirodalom a komfortelméletet négy fő témakörre osztja: hőkomfort, levegőminőség, akusztika, természetes és mesterséges megvilágítás. Ezek közül dolgozatunkban a hőkomforttal foglalkozunk részletesen. Az embert környezetéből folyamatosan megszámlálhatatlan mennyiségű hatás éri, amelyek mindenkiben egyedileg határoznak meg egy pillanatnyi közérzetet. Legtalálóbban talán így lehet definiálni: „... a közérzet a komplex hatások alapján az egyéneknél kialakuló szubjektív érzés...”³. Ezt a szubjektív érzést módosítja a környezetünkre jellemző hőmérséklet, nedvesség, légmozgás, zaj, megvilágítás, mindenféle sugárzás, rezgések stb.

A környező világgal való kapcsolatnak vannak szubjektív és objektív részei is, ezért a nehézséget az okozza, hogy az egyéni érzeteket valahogy számszerűsíteni kell ahhoz, hogy szabványosítani lehessen az elvárásokat. „... A kellemes hőérzet az a tudati állapot, amely a termikus környezettel kapcsolatos elégedettséget fejezi ki...”⁴ Ahhoz viszont, hogy ebből a definícióból normajavaslat születhessen meg kell figyelni, hogy a mérhető paraméterek milyen összefüggésben állnak az elégedettséggel. A hőérzetet jellemzően a következő hat tényező alakítja ki:

- 1, A levegő hőmérséklete, annak térbeli és időbeli eloszlása, változása
- 2, A környező felületek közepes sugárzási hőmérséklete
- 3, A levegő relatív nedvességtartalma, illetve a levegőben lévő vízgőz parciális nyomása
- 4, A levegő sebessége
- 5, Az emberi test hőtermelése, hőleadása, hőszabályzása
- 6, A ruházat hőszigetelő képessége, párolgást befolyásoló hatása

Ezek közül az első négy konkrétan mérhető fizikai paraméter, amelyek mérését mi magunk is célként tűztük ki. Az utóbbi kettő függ az egyéni alkalmazkodóképességtől, azonban laboratóriumi mérések alapján ezekhez is rendelkezésre állnak értékek, adott tevékenységi szintekre lebontva.

Az emberi testben égési folyamatok játszódnak le, amiből következik, hogy hőt ad le a környezetének, ezzel befolyásolva azt. Egy nyugalmi állapotban lévő felnőtt ember percenként 0,25l oxigént fogyaszt el és 88W hő szabadul fel testéből. Ha egy adott illető izommunkát végez az oxigénfogyasztása és természetesen a hőleadása is a többszörösére

³ [1] Bánhidi László – Kajtár László: Komfortelmélet. Műegyetemi Kiadó, ISBN 963 420 633, (2000)

⁴ [1] Bánhidi László – Kajtár László: Komfortelmélet. Műegyetemi Kiadó, ISBN 963 420 633, (2000)

nőhet. Ennek megfelelően a munkákat három nagy csoportba osztották szét, ami az intenzitásuknak megfelelő osztályozás. Létezik könnyű, közepes, illetve nehéz kategória. Testünk a benne fejlődő hőt négy lehetséges módon tudja továbbítani: Konvekcióval (32-35%), sugárzással (42-44%), Párolgással (21-26%), vezetéssel (2-4%). Mivel ez nem kis mértékben képes módosítani a környezet paramétereit, fontos hogy valahogyan képesek legyünk figyelembe venni a komfortelméleti számításaink során. Ilyen például a ruházat hőszigetelő képessége. Annak meghatározására az úgynevezett clo mérőszámot dolgozták ki. 1 clo= 0,155 m²C/W. Az egyes ruhadarabok szigetelőképessége szerint egységes táblázat áll rendelkezésünkre a clo érték meghatározásához. (lásd: táblázat 1.1 ill. táblázat 1.2)

RUHÁZAT	Iclo	fcl
Mezítelen	0	1,0
Short	0,1	1,0
Tipikus trópusi ruházat: short, nyitott nyakú ing rövid ujjal, könnyű zokni és szandál	0,3-0,4	1,05
Könnyű nyári ruházat: hosszú szárú nadrág könnyű anyagból, nyitott nyakú ing, rövid ujjak	0,5	1,1
Könnyű ruha: short, gyapjú zokni, pamut munkaing és munkanadrág	0,6	1,1
Tipikus üzletember-ruházat	1,0	1,15
Tipikus üzletember-ruházat + pamut kabát	1,5	1,15
Nehéz tradicionális európai üzletember-ruházat: pamut alsónemű hosszú ujjakkal és szárral, ing, gyapjú zokni, cipő, öltöny, beleértve nadrágot, kabátot és mellényt	1,5	1,15-1,2

Táblázat 1.1 Az egyes ruházatok szerinti clo értékek ⁵

⁵ [4] Dr. Magyar Zoltán: Komfortelmélet. Egyetemi előadás, Pécs 2015.

Férfiak		Nők	
Ruhadarab	Icli (clo)	Ruhadarab	Icli (clo)
Alsónemű			
Atlétatrikó	0,06	Melltartó és alsó	0,05
Póló	0,09	Rövid kombiné	0,13
Alsónadrág	0,05	Hosszú kombiné	0,19
Felsőruházat			
Ing		Blúz	
Könnyű, rövid ujjú	0,14	Könnyű	0,20
hosszú ujjú	0,22	Vastag	0,29
Nadrág		Pantalló	
Könnyű	0,26	Könnyű	0,26
Vastag	0,32	Vastag	0,32
Pulóver		Pulóver	
Könnyű	0,2	Könnyű	0,17
Vastag	0,37	Vastag	0,37
Zakó		Blézer	
Könnyű	0,22	Könnyű	0,17
Vastag	0,49	Vastag	0,37
Cipők		Cipők	
Szandál	0,02	Szandál	0,02
Félcipő	0,04	Félcipő	0,04
Csizma	0,08	Csizma	0,08

Táblázat 1.2 Az egyes ruházatok szerinti clo értékek⁶

⁶ [4] Dr. Magyar Zoltán: Komfortelmélet. Egyetemi előadás, Pécs 2015.

Az emberi test hőleadó képessége attól is függ, hogy éppen milyen tevékenységet végez, ezért ilyen szempontból is szükség volt egységesítésre. A tevékenységekhez metabolikus értékeket rendeltek, amiket a következő táblázatból olvashatunk. (lásd: táblázat 2.1)

Tevékenység	M/Fdu (W/m ²)	met	η	Vrel (m/s)
Pihenés				
Alvás	41	0,7	0	0
Pihenés	47	0,8	0	0
Nyugodt ülés	58	1,0	0	0
Állás laza testtartással			0	0
Gépi munka				
könnyű (pl. elektromos ipar)	116-140	2,0-2,4	0-0,1	0-0,2
gépszerelő	163	2,8	0-0,1	0-0,9
nehéz (pl. festőipar)	232	4,0	0-0,1	0-0,2
nehéz munka				
targoncatolás (57kg, 4,5 km/h)	145	2,5	0,2	1,4
50 kg-os zsák hordása	232	4,0	0,2	0,5
kubikus munka	232-280	4,0-4,8	0,1-0,2	0,5
árokásás	350	6,0	0,2	0,5
irodai munka				
számítógépes	70	1,2	0	0
különböző irodai munka (pl. ívek kitöltése, ellenőrzés)	58-70	1,0-1,2	0	0-0,1
rajzolás	70	1,2	0	0-0,1

Táblázat 2.1

Az egyes munkavégzéseknek megfelelő met értékek⁷

⁷ [4] Dr. Magyar Zoltán: Komfortelmélet. Egyetemi előadás, Pécs 2015.

A metabolikus hő: $M=H+W$, ahol H a belső hőszükséglet, a W pedig a külső mechanikai munka. „A különböző munkavégzés számszerű hőegyenértékének meghatározására a nemzetközi gyakorlat a „met” egységet használja.”⁸

$1\text{met} = 58 \text{ W/m}^2$

A ma használatos normajavaslatok alapját Povl Ole Fanger dolgozta ki (1982).⁹ Módszerének lényege, hogy a zárt tér adott pontjára, különböző paraméterek ismeretében meg lehet határozni a várható hőérzeti értéket. Kísérlete alapját az az emberi tulajdonság képezi, hogy a testünk a hőegyensúlyt széles határok között képes tartani, azonban csak egy szűk intervallumban kellemes a hőérzet. Minél nagyobb alkalmazkodás szükséges, annál negatívabb a komfortérzetünk. Feltételezzük, hogy a +/- 1 érték felel meg a jó közérzetnek. Ez a diagram tartalmazza az úgynevezett PMV (Predicted Mean Vote = várható hőérzeti érték) illetve a PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied = kedvezőtlen hőérzet várható százalékos valószínűsége) értékeket.

„ASHRAE (1981) 55-81 szabvány szerint:

„... A kellemes hőérzet az a tudati állapot, amely a termikus környezettel kapcsolatos elégedettséget fejezi ki. ...”¹⁰

A szubjektív hőérzeti skála:

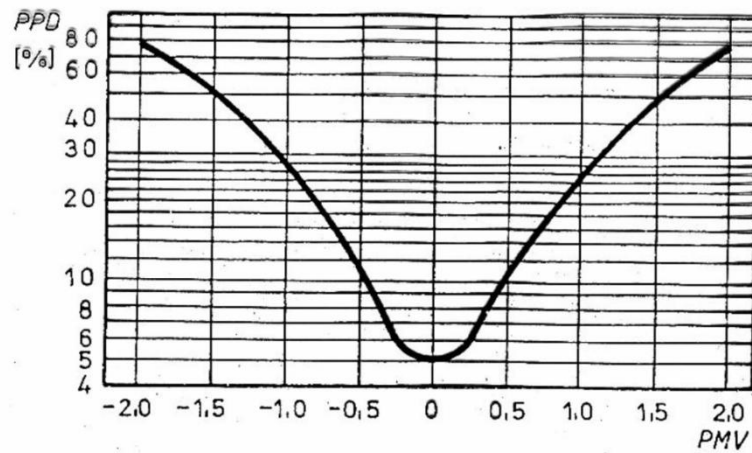
Forró	+3
Meleg	+2
Kellemesen meleg	+1
Neutrális	0
Kellemesen hűvös	-1
Hűvös	-2
Hideg	-3

⁸ [4] Dr. Magyar Zoltán: Komfortelmélet. Egyetemi előadás, Pécs 2015.

⁹[3] https://en.wikipedia.org/wiki/Povl_Ole_Fanger

¹⁰ [4] Dr. Magyar Zoltán: Komfortelmélet. Egyetemi előadás, Pécs 2015.

A továbbiakban mi is a görbe (lásd ábra 1.1)¹¹ által nyújtott adatokat használjuk fel a saját kutatásunkban.



A hőkönyezetükkel várhatóan elégedetlenek százalékos aránya (PPD) a PMV érték függvényében (Fanger 1982)

Ábra 1.1

¹¹ [1] Bánhidi László – Kajtár László: Komfortelmélet. Műegyetemi Kiadó, ISBN 963 420 633, (2000)

A mérőállomás felépítése

A kialakítandó mérőeszköznek a Fanger féle PMV képlethez szükséges négyféle fizikai jellemzőt kell tudnia mérnie: légsebesség, léghőmérséklet, páratartalom és sugárzási hőmérséklet.

A mérőállomás megfelelő szenzorjainak kiválasztását és megrendelését Bakonyi Dániel végezte, továbbá az összeépítését és a programozást is, a mi segítségünkkel. A mérőeszköz állványzatát Szalai Dóra biztosította.

A hőkomfort elméletnek megfelelően szükséges mérnünk a léghőmérsékletet, a sugárzási hőmérsékletet, a páratartalmat valamint a légsebességet.

A légsebességet termo anemométerrel mérjük, a páratartalmat illetve a hőmérsékletet két SHT75-ös szenzorral, a sugárzási hőmérsékletet pedig DS18B20 típusú érzékelő matt fekete rézgömbben való elhelyezésével mérjük.

A légsebességet három termoanemométerrel mérjük 120 fokként elhelyezve egy tartó egységen, mert ez az érzékelő érzékeny arra, hogy milyen szögben éri a légmozgás.

A páratartalom illetve hőmérsékletérzékelőket egy védőegységben szükséges elhelyezni, hogy az infravörös tartományú sugárzás ne befolyásolja az eredményt, ennek az elkészítése a következő lépésünk lesz.

A sugárzási hőmérsékletmérőt egy matt fekete rézgömbben helyeztük el, hogy minél inkább az infravörös tartományú sugárzásból adódó hőmérsékletet tudja mérni.

Az érzékelőket telefon és utp cat 5 kábellel kötjük össze az adatgyűjtő egységgel, a doboz oldalára szerelt RJ12 (telefonkábelhez) és rj45 (cat5 kábelhez) csatlakozókkal.

A legnehezebb feladat egy megfelelő anemométer, azaz légsebesség érzékelő kiválasztása volt. Míg kellően pontos digitális hőmérő chip-ek néhány-száz, relatív páratartalom érzékelők néhány ezer forinttól elérhetőek, addig a professzionális anemométerek igencsak más árkategóriába tartoznak. A helyzetet tovább nehezíti, hogy a hőkomfort vizsgálatokhoz a beltérben igen alacsony légsebességeket kell tudni mérni, ami a legtöbb relatíve egyszerűbb anemométer típust (pl. szárnykerekes anemométer) elve kizárja. Valamilyen ún. termoanemométerre volt szükség. Végül az amerikai Modern Device Wind Sensor Rev. P nevű termo anemométer lett kiválasztva, mely egy olcsó, de inkább hobbi szintű érzékelő. Egy kis ellenállást fűt egy adott hőmérsékletre, melynek a légsebességtől függő konvektív hőleadását méri, az adott hőmérséklet fenntartásához szükséges feszültség mérésével. Az érzékelő egy léghőmérséklet kompenzáló hőmérőt és elektronikát is tartalmaz, és a légsebességtől függő analóg feszültség jelet ad.

Mivel az anemométerek analóg jelként közlik a mérési eredményeket ezért szükséges beépítenünk egy ADC (analog-digital converter) egységet, ami azért felel, hogy az analóg jeleket digitálissá alakítsa át a mérések pontosságához szükséges felbontással, ezáltal számítógépünk fel tudja dolgozni a kapott információt.

Ezen kívül mérőállomásunk tartalmazott egy Sensirion SHT75 típusú kapacitív hőmérséklet és relatív páratartalom szenzort, melynek a páratartalom és léghőmérséklet adatait rögzítettük és használtuk fel a továbbiakban leírt módon.

Az adatrögzítést egy Arduino Mega 2560 típusú mikrokontrollerrel oldottuk meg. Ennek nagy előnye mindamellett, hogy olcsó, hogy az ingyenes Arduino IDE környezetben saját programnyelvével viszonylag könnyen programozható, ami sokkal egyszerűbb, mint az alapjául szolgáló C++ programozási nyelv. Ráadásul nyílt forráskódú és egy nagyon nagy nemzetközi felhasználó közösség alakult ki körülötte. Az interneten számtalan Tutorial, minta program és különféle célú, bárki számára elérhető könyvtárak találhatóak hozzá a különféle bonyolultabb funkciók kezelésére (pl. Ethernet könyvtár, a Sensirion és a DS18B20 érzékelőkkel való kommunikációhoz szükséges könyvtárak, stb.). Ezt mi is kihasználtuk, mivel a műszereinkhez kész könyvtárak álltak rendelkezésre, így azokat felhasználva tudtuk megírni a programunkat és feltölteni az arduinora. A kiegészítő könyvtárakon kívül számos fizikai kiegészítő (úgynevezett shieldek) is kaphatóak az Arduino-k hoz, melyek egyszerűen rányomhatóak a mikrokontroller tetejére és számos kiegészítő funkciót láthatnak el. Ezek közül mi most egy ethernet shield-et építettünk be az adatok internetes továbbítására, mely az adatok mentésére egy micro SD kártya foglalatot is tartalmaz (az Arduino nem számítógép, belső memóriája igen picike az adatai a táp megszűnésével eleve elvesznének, ezért erre az SD kártyára történhet az adatok fizikai mentése).

Mivel az arduino nem rendelkezik beépített órával és önmagában csak arra lenne képes, hogy a bekapcsolástól eltelt időt mérje, ezért beszereltünk egy RTC-t (real time clock) ami beállítás után egy gombem segítségével folyamatosan szolgáltatja az aktuális időt függetlenül attól hogy az mikrokontroller kap-e áramot vagy sem.

Az adatok mentését három lehetséges módon oldottuk meg, az adott feladattól függően. Az egyik módszer csak akkor működik, ha a mikrokontroller soros porton számítógéphez van kötve. Ilyenkor egy usb kábel segítségével a mért adatok azonnal megjelennek a kijelzőn. Hátránya viszont, hogy ez csak helyszíni méréseknél alkalmazható, mert szükség van a számítógép folyamatos működtetésére. A további lehetőségeket a kifejezetten arduinokhoz gyártott shieldek nyújtják. Egy ethernet shield segítségével internetre tudjuk kapcsolni a

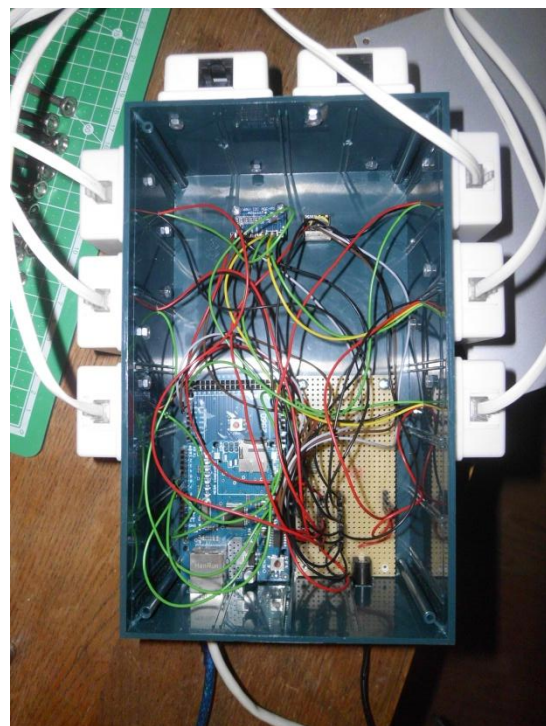
mikrokontrollert, ezáltal lehetőség nyílik, hogy a mérések eredményét adattároló szerverekre mentjük, amit bárhonnán figyelemmel követhetünk. A shield opciói közé tartozik az is hogy van lehetőség SD kártyára való mentésre is.

Az arduino 5 voltal működik, amit egy USB-s táppal adunk meg neki, ha éppen nincsen számítógéphez csatlakoztatva, de szükséges még egy 12v-os táp, mert az anemométerek fűtéshez ez a feszültség szükséges.

A készülék rendelkezik egy státusz, illetve egy hiba leddel. Ezek nagyon hasznosak a felhasználók számára, mivel segítségükkel kapunk visszajelzést, hogy a berendezés valóban működés alatt van és megtörténik az adatok lekérése az előre beállított időközönként.



4. Kép Összeállított mérőállomásunk



3. Kép Vezérlődoboz tartalma

Kalibrálás

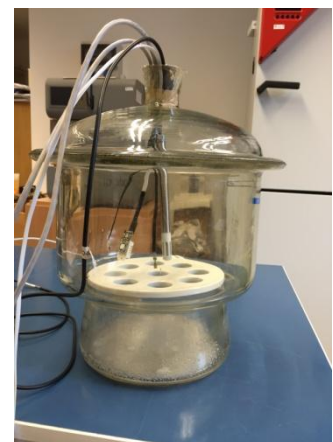
A mérőállomás érzékelőit kalibrálni kell. A hőmérséklet (DS18B20) és a professzionális páratartalom érzékelők (SHT75) rendelkeznek egy garantált gyári kalibrálással, melyet jobb esetben csak ellenőrizni szükséges, de az olcsóbb kínai páratartalom érzékelőknek (DHT22) és a termo anemométereknek (Wind Sensor Rev. P) nincsen ilyen dokumentációja, ezért kalibráció előtt nem használhatóak. Továbbá a hőmérséklet érzékelőből és a festett rézgömbből összeállított sugárzási hőmérséklet mérőinket, mint komplex egységet is szükséges kalibrálni.

Az egyes érzékelők külön-külön történő kalibrálása után pedig a komplett állomást is össze akartuk vetni (más referencia hiányában) a BME Hőfizika Laboratórium professzionális PMV állomásának a méréseivel.

A mérések elvégzésében mindannyian részt vettünk, segítségünkre volt továbbá Orbán Tamás a Hőfizika Labor, és Gulyás András az Áramlástan tanszék munkatársa. A mérési adatok kiértékelését és a kalibrációs görbék elkészítését Szalai Dóra végezte konzulenseink iránymutatásával.

A páratartalom érzékelők kalibrálása

A páratartalom érzékelő kalibrációjához konstans, ismert páratartalom szükséges. Mi telített sóoldatos megoldással végeztük a kalibrációt, melynek lényege, hogy a sókhoz addig adagolunk vizet, míg egy telített oldatot kaptunk, mivel nehéz elérni azt a páratartalmat, aminek ki kellene alakulnia a hivatalos nyilatkozat szerint, ezért mindig referenciaműszerre van szükség. Ezt a mérést a Hőfizika Laborban végeztük Orbán Tamás segítségével. Ő biztosította a méréshez szükséges eszközöket, illetve ő készítette el a telített sóoldatokat is. A Hőfizika Labor PMV mérőállomásának páraérzékelője szolgált referenciaként. Két féle sót használtunk: ammónium-dihidrogén-foszfátot és konyhasót (NaCl). A méréshez exikátort használtunk, mely egy lezárható berendezés, hogy a külső légállapotok ne befolyásolhassák az edényben kialakult nedvességtartalmat. A telített sóoldat párolgása következtében kialakul egy egyensúlyi páratartalom mely az adott sóra jellemző érték. Miután kialakult



5. Kép Exikátor

az exikátorban ez az érték kezdhettük a mérést. Két SHT75-ös¹² típusú szenzorral és egy SHT75-el¹³ (olcsóbb) mértünk. A drágább érzékelő gyártói nyilatkozatban +/- 2% relatív nedvességtartalombeli, és +/- 0,5 K hőmérsékletbeli pontosságot „ígértek”, mely a méréseink alapján helytálló. A kínai érzékelő a várakozásoknak megfelelően pontatlanabb volt, de a mérések alapján megállapítottuk, hogy egy a kalibráció alapján meghatározott eltolási görbével akár az is használható lenne. Három különböző páratartalom végeztük el a méréseket. A Hőfizika Labor PMV mérőállomásának páratartalom érzékelője szolgált referenciaműszerként. Az egyes a gyengébb minőségű, Kínából rendelt, a kettes és a hármas a drágább, Svájcban rendelt érzékelő. Először ammónium dihidrogén foszfáttal, melyre 93%-os páratartalom jellemző, a labor érzékelője 90,7%-ot mutatott, az eltérés a hőmérsékletből illetve a nem tökéletes telítésből adódhatott, a SHT75 érzékelőnk átlagosan 89,65 illetve 90,09%-ot mutatott, a DHT22 viszont 83,24%-ot. (Lásd: 1. diagram) Konyhasóval is elvégeztük a méréseket, melyre 75% a jellemző, a referenciaműszerünk 73%-ot mutatott, a mi svájci érzékelőink átlagosan 72,78 illetve 73,08%-ot jelzett a kínai szenzor 63,08%-ot. (Lásd: 3. diagram) Végül a laborban uralkodó légállapotról is elvégeztük, ahol 32%-os volt a páratartalom a labor mérőeszköze szerint, a mi SHT75 típusú szenzorjaink 32,83 illetve 33,76 %-ot mért, a SHT75 típusú pedig 29,18%-ot. Lásd: 5. diagram). A mérés alapján megállapítottuk, hogy a két SHT75 érzékelő tökéletesen mér, a DHT22-est viszont kalibrálni kell.



6. Kép Labor páratartalom érzékelője

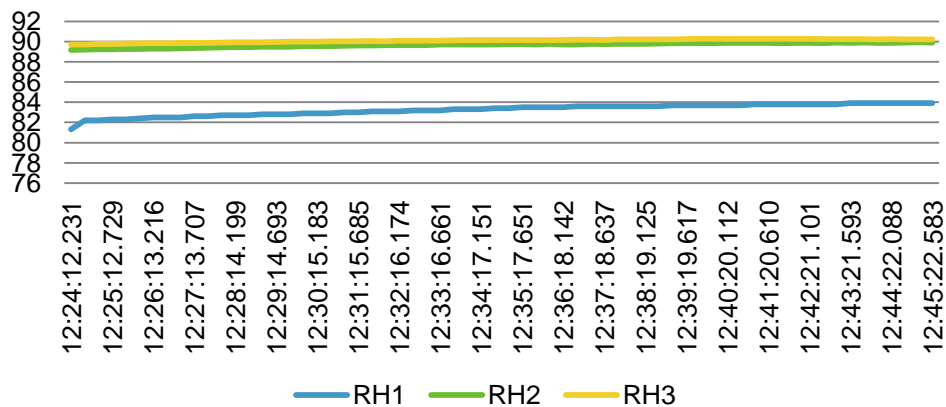


7. Kép Ammónium dihidrogén foszfát

¹² [8] Ladyada: DHTxx Sensors. 2013.07.30. 02:30.

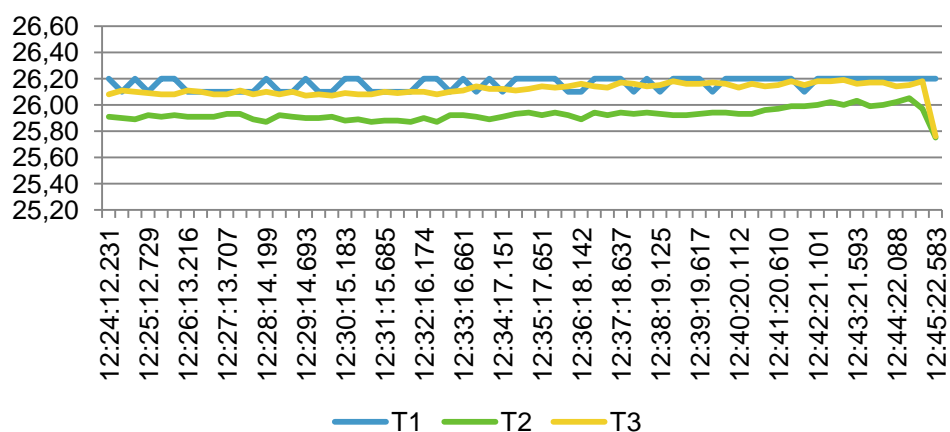
¹³[9] Ensirion the sensors company: Datasheet SHT7x (SHT71, SHT75). 2011.12.

Ammónium dihidrogén foszfát- páratartalom



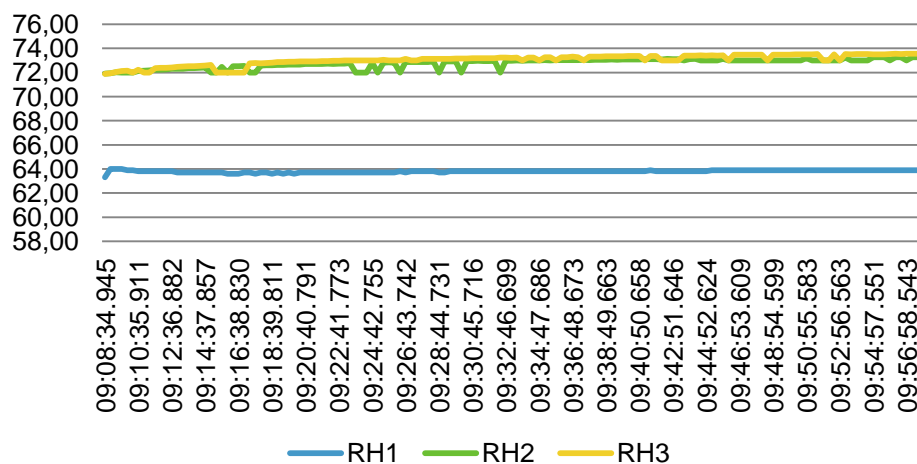
1. Diagram Páratartalom érzékelő Ammónium dihidrogén foszfáttal történt kalibrációja, páratartalom.

Ammónium dihidrogén foszfát- hőmérséklet



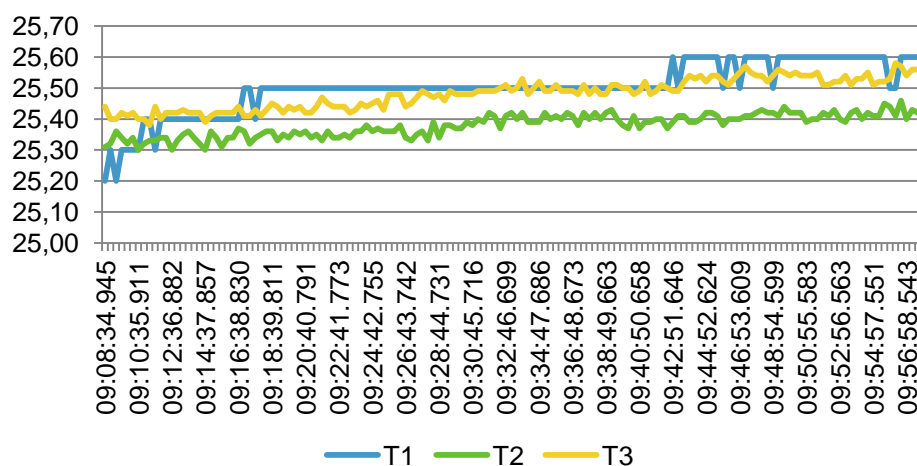
2. Diagram Páratartalom érzékelő Ammónium dihidrogén foszfáttal történt kalibrációja, hőmérséklet.

NaCl-Páratartalom



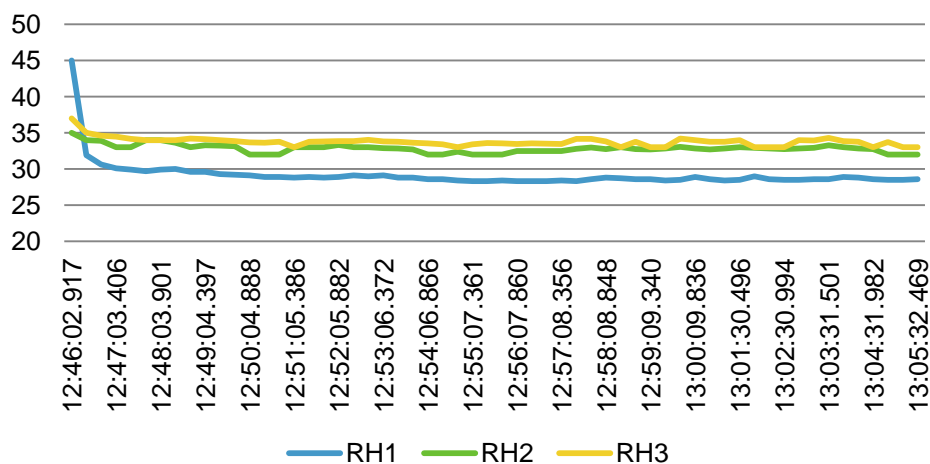
3. Diagram Páratartalom érzékelő NaCl-el történt kalibrációja, páratartalom.

NaCl-Hőmérséklet



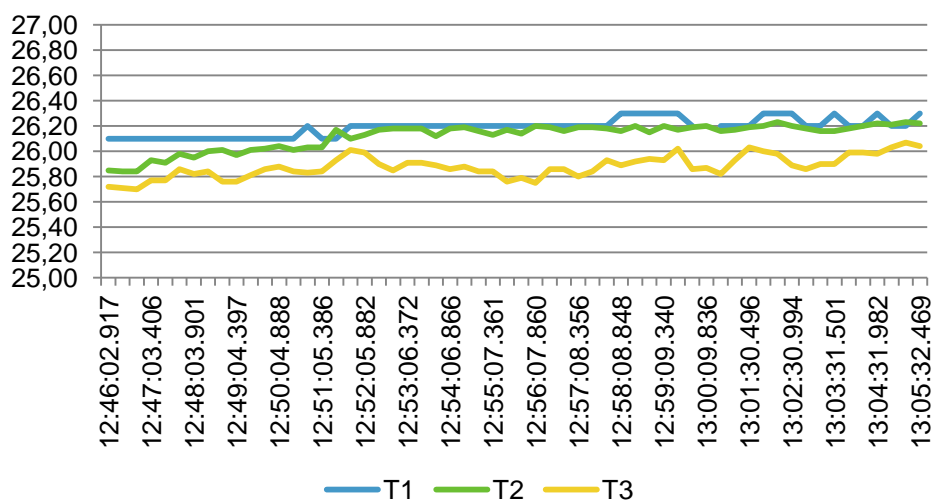
4. Diagram Páratartalom érzékelő NaCl-el történt kalibrációja, hőmérséklet.

Labor légállapota-páratartalom



5. Diagram Páratartalom érzékelő Laborban uralkodó légállapotokon történt kalibrációja, páratartalom.

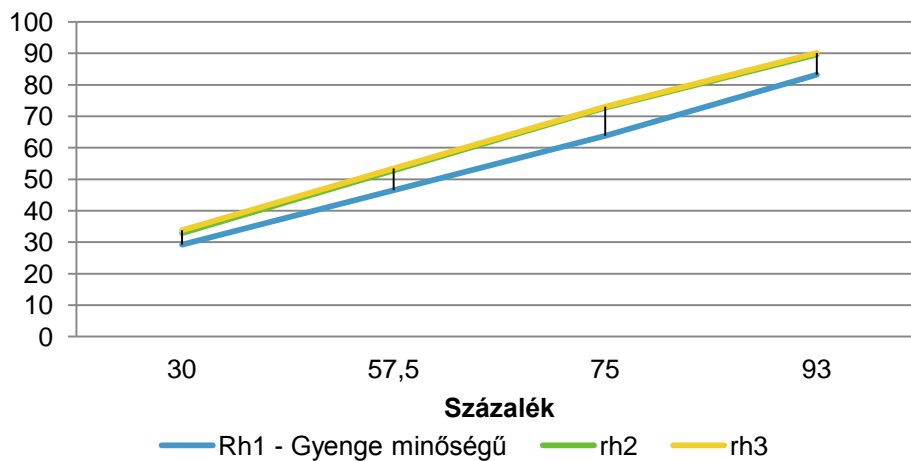
Labor légállapota-hőmérséklet



6. Diagram Páratartalom érzékelő Laborban uralkodó légállapotokon történt kalibrációja, hőmérséklet.

A diagramokról jól látszik, hogy a drágább érzékelők által mutatott páratartalmak közel tökéletesen megegyeznek a labor szenzora által mérttel. Az olcsóbb szenzor viszont jóval alacsonyabb páratartalmat mutatott, ami már nem elfogadható hiba, ezt egy eltolási görbével lehet pontosítani. A mért adatokat átlagoltuk majd meghatároztuk a gyengébb minőségű százalékos eltérését a referencia, illetve a drágább műszerekéhez képest. Majd ezek alapján egy szorzótényezővel megszorozva az értékeket már elfogadható pontosságú adatokat kaptunk. annak ellenére, hogy a kínai műszerrel is pontosan tudnánk mérni, úgy döntöttünk, hogy mivel van két DS18B20 típusú megbízható szenzorunk ezeket használjuk az állomásunkon.

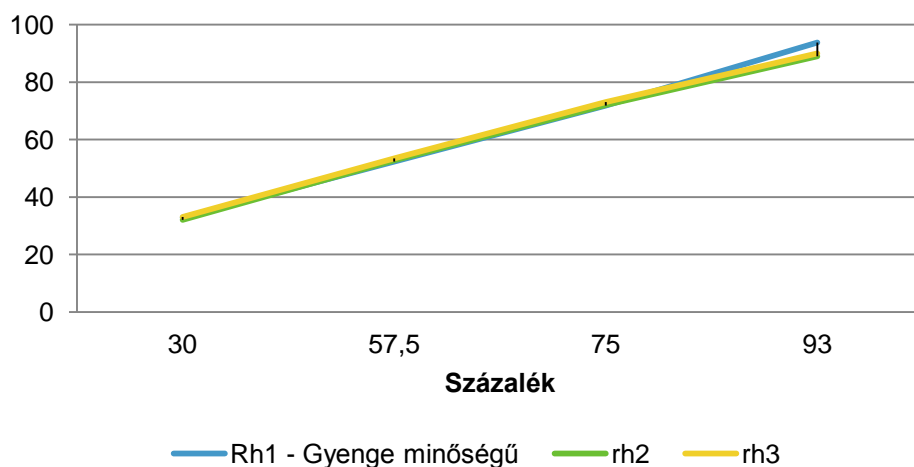
Eltolási görbe



7. Diagram

DHT22 típusú érzékelő kalibrációja.

Eltolt RH1



8. Diagram

DHT22 típusú érzékelő kalibrációja.

A termo anemométerek kalibrálása

A légsebesség mérésére olyan termo-anemométereket alkalmaztunk, amik a kalorimetrikus típusú mérők közé tartoznak. A mérés elve, hogy van egy fűtőelem, amit adott fix hőmérsékleten tartja a műszert és az ehhez szükséges feszültségből számítható a hőmérséklet. A fűtőelem folyamatosan hőt ad le az áramló közegnek, annak megfelelően, hogy a közegben milyen áramlások vannak és mekkora annak a hőmérséklete. A műszer fűtött elemének feszültségfelvétele mindig elér egy adott minimum értéket, ami a mérőeszköz működését biztosítja. A levegő mozgása minél jobban hűti a fűtött elemet, annál nagyobb feszültségfelvételre van szüksége az állandó hőmérsékleten tartáshoz (a léghőmérséklet függvényében). Ehhez a felhasznált feszültséghez viszonyítva tudunk összefüggést felírni a légsebesség nagyságára. Fontos, hogy az a feszültség, ami képes az alap hőmérsékleten tartani a fűtőelemet az függ attól, hogy milyen hőmérsékletű levegő áramlik körülötte. Ezért a műszernek muszáj rendelkeznie saját hőmérővel, aminek az adatait arra használja fel, hogy az adott körülményeknek megfelelően kompenzálja a feszültség változtatását.¹⁴

Ahhoz, hogy kalibrálni tudjunk egy ilyen műszert olyan környezetbe kell helyeznünk azt, ahol nagy pontossággal tudjuk szabályozni a légsebességet, és tartósan egyenletesen tudjuk azt tartani mind térben mind időben.



8. Kép Áramlástan tanszék NPL típusú szélcsatornája

¹⁴[5] <http://mahara.eet.bme.hu/artefact/file/download.php?file=3245&view=807>

Ezeknek az elvárásoknak csak egy szélcsatornával lehet eleget tenni, ezért megkerestük a Kármán Tódor Szélcsatorna Laboratóriumot, ami a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Áramlástan Tanszékének szervezeti egysége.

A laboratórium hat darab szélcsatornával rendelkezik, melyekkel nemzeti és nemzetközi kutatási projekteken vesznek részt.

A tanszék jóvoltából lehetőségünk nyílt egy NPL típusú szélcsatorna használatához.

A szélcsatornát 1941-ben építették fából, azóta több eleme is javításra szorult, de alapvetően az eredeti állapotában

működik a mai napig. Először Gustav Eiffel épített ilyen típusú mérőcsatornát. A nevét onnan kapta, hogy Angliában a National Physical Laboratory is ezt a változatot alkalmazta.¹⁵¹⁶

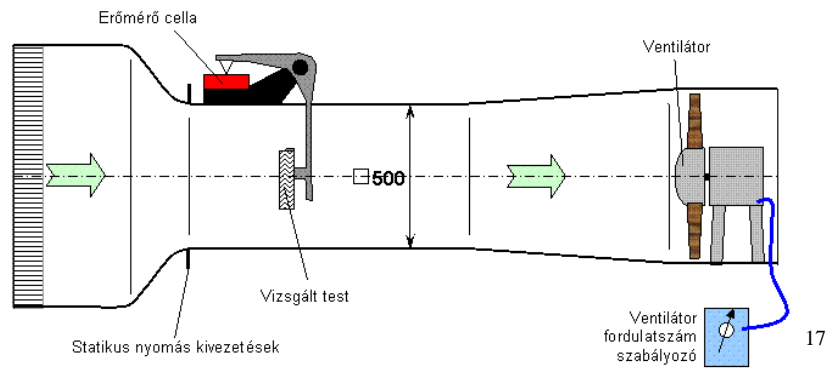
Az NPL típusú a tanszék legkisebb szélcsatornája, amely 6,2m hosszúságú, mérőterének keresztmetszete 0,5x0,5m. Annak ellenére, hogy ez a csatorna már-már muzeális darab a mai napig oktatási célokat és tudományos méréseket szolgál, illetve jól szolgál anemométerek kalibrációjához, mert alkalmas kis légsebesség biztosítására. A fából készült ventilátor lapátok 15m/s légsebességet képesek maximálisan előállítani. A szélcsatorna részei a levegő áramlásának megfelelő sorrendben egy szitával kezdődik, ami a beszívó ajkakra van ráfeszítve, majd ezt közvetlenül követi egy áramlás-egyenletesítő rács. Ezekre első sorban azért van szükség, hogy a terem levegőjében lévő nagyobb turbulens örvényeket „felszabdálja” és viszonylag homogén áramlást idézzon elő. Ezután a levegő egy csökkenő keresztmetszetű csőszakaszon, a konfúzoron keresztül áramlik be a mérőtérbe, mely szintén az áramlási sebesség egységesítését szolgálja. Középen található a mérőtér, aminek keresztmetszete állandó. Ide helyeztük el a műszereinket, a mérőteret követő drót védőháló elé, ami arra szolgál, hogy az esetlegesen leváló daraboktól megvédje a ventilátor lapátjait, amik a szívás miatt megsérülhetnek. A háló után a keresztmetszet tágulni kezd, ez a rész a diffúzor, ami azért tágul, mert így a csökkentett keresztmetszet felől a tágabb felé nyomáscsökkenés történik, ami biztosítja, hogy ne történjen visszaáramlás. A diffúzor végében helyezkedik el a ventilátor és egy egyenáramú motor.



9. Kép Szélcsatorna beszívó ajka

¹⁵ [6] http://www.ara.bme.hu/cms/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1

¹⁶ [7] http://www.ara.bme.hu/cms/index.php?option=com_content&task=view&id=22&Itemid=32



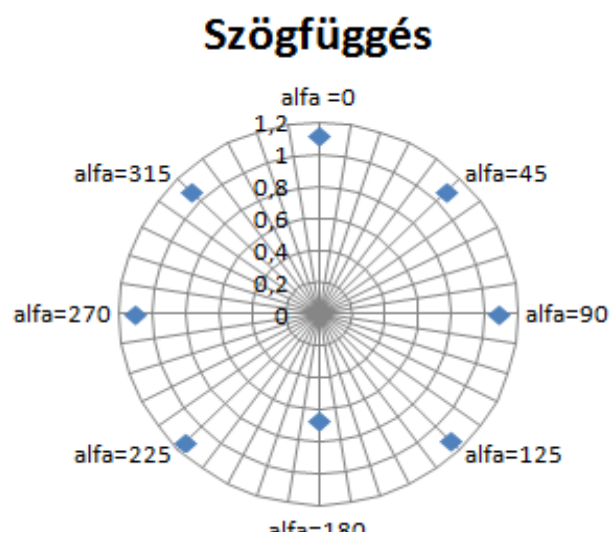
1. ábra Szívott üzemi szélcsatorna

A mérést úgy végeztük, hogy a mérőtérbe egyszerre helyeztük el az anemométerünket, illetve a referenciaműszerünket, ami a Hőfizika Labor PMV mérőállomásának anemométere volt. Igyekeztük körülbelül egyenlő magasságban elhelyezni a két szenzort és ügyeltünk arra, hogy lehetőleg ne befolyásolják egymás mérését.

Ezután a légsebességet beállítottuk egy fix értékre, majd megvártuk mire mindkét anemométer beáll és leolvastuk az értékeket. A kalibrálandó anemométereink analóg feszültség jelet adnak, melyet csak a kalibráció után lehet csak átváltani sebességre (ez a kalibráció lényege).- A referencia anemométer esetében közvetlenül a digitális adatgyűjtője által kiírt sebesség értéket jegyeztük föl. A mérést mindhárom érzékelőnkkel elvégeztük 15 lépcsőben 0,2 és 1,5 m/s sebesség között, az egyes légsebességeken 7-8 mérést is csináltunk, hogy biztos jó eredményt kapjunk.

Miután a mérést mindhárom szenzorunkkal elvégeztük különböző légsebességekkel, végeztünk méréseket úgy is, hogy a referenciaműszert eltávolítottuk a mérőtérből. Ezzel megkaptuk azt a pozitív visszaigazolást, hogy nem befolyásolta a kalibrálandó műszert a referencia eszköz, mivel az így mért értékek nem különböztek az előbbiektől.

A következő lépésben arra is végeztünk egy vizsgálatot, hogy mennyire irányfüggő a műszerünk. A felépítéséből adódik, hogy egyes irányokból a fűtőelem a foglalat miatt árnyékolódik. Ennek a mérésnek a kiértékelését a grafikonnal igyekeztünk szemléltetni (lásd.: 9. Diagram) majd azt a döntést hoztuk, hogy ezt egyszerre három műszer alkalmazásával próbáljuk meg

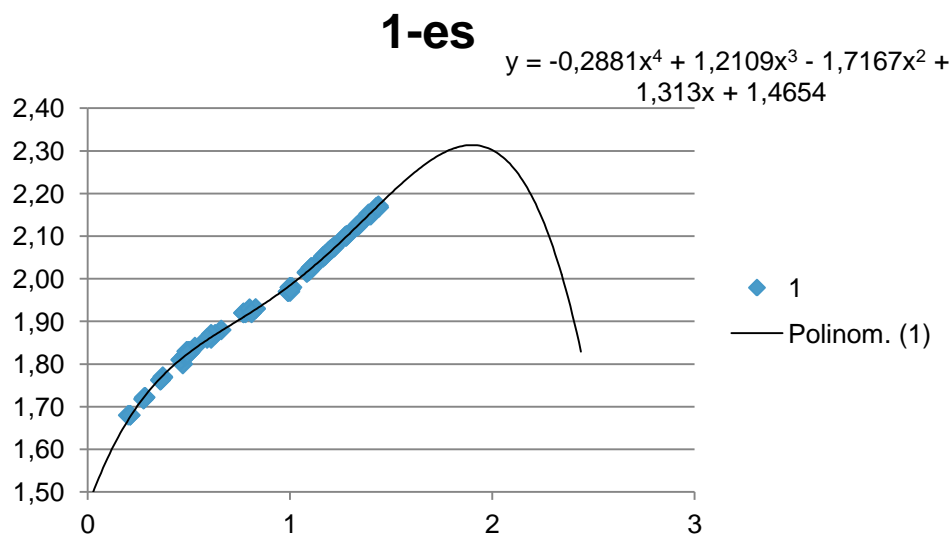


¹⁷ [2] <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartal>

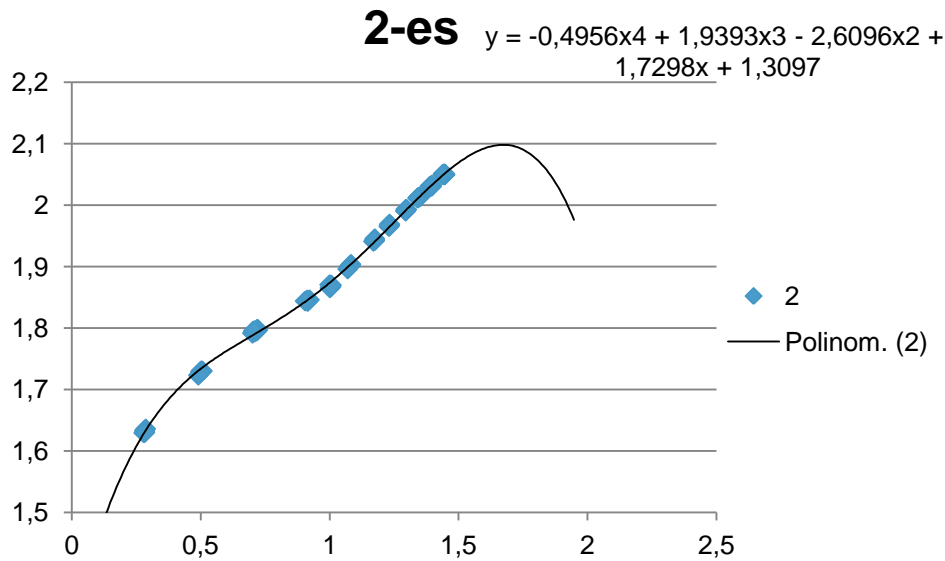
kiküszöbölni. A hiba kivédésének lényege hogy 120 fokként helyezük el a műszereket „egymásnak háttal, így a mért értékek köbös átlaga viszonylag jól közelíti a valós légmozgás sebességét.

A kalibrációs mérések eredménye egy pontthalmaz lett, mely a referencia műszer szerinti légsebességeket és a saját érzékelőink által szolgáltatott feszültség értékeket adták meg. A következő lépés a megfelelő kalibrációs görbe előállítása volt.

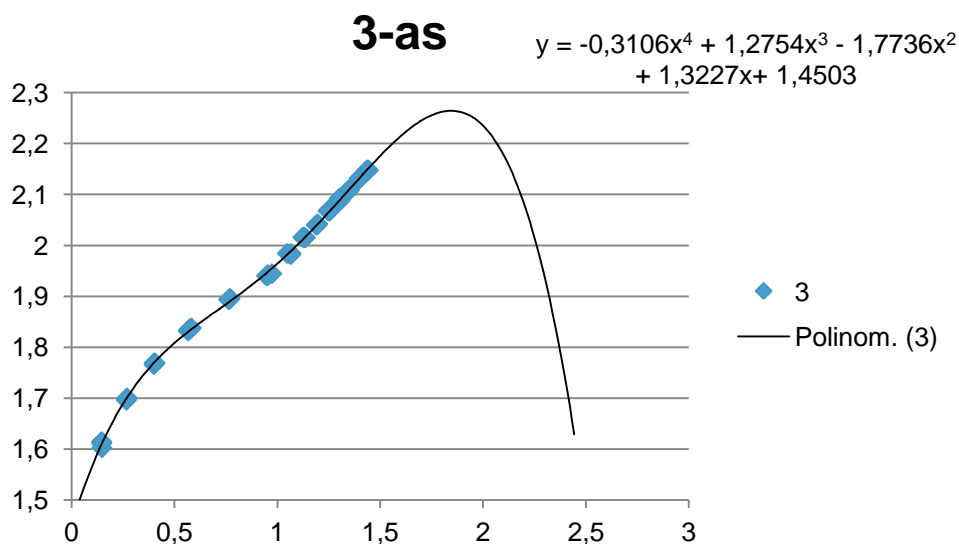
Első próbálkozáskén egy poligont próbáltunk illeszteni az adatokra. Egy megfelelő Poligonnal jól lekövethető szinte bármilyen függvénykép, de ezzel az a baj, hogy csak a mért tartományban közelíti jól az értéket, így a kalibráció során mért sebességek tartományán túl nem lenne használható. Sajnos a szélcsatornában egy adott értéknél kisebb légsebességeket nem lehetett előállítani, ezért szükséges, hogy a kalibrációs görbénk a mért pontthalmazon túl a kisebb sebességek fele extrapolálni tudjon.



10. Diagram 1-es számú termo ananóméter kalibrációja polinommal közelítve.



11. Diagram 2-es számú termo ananóméter kalibrációja polinommal közelítve.



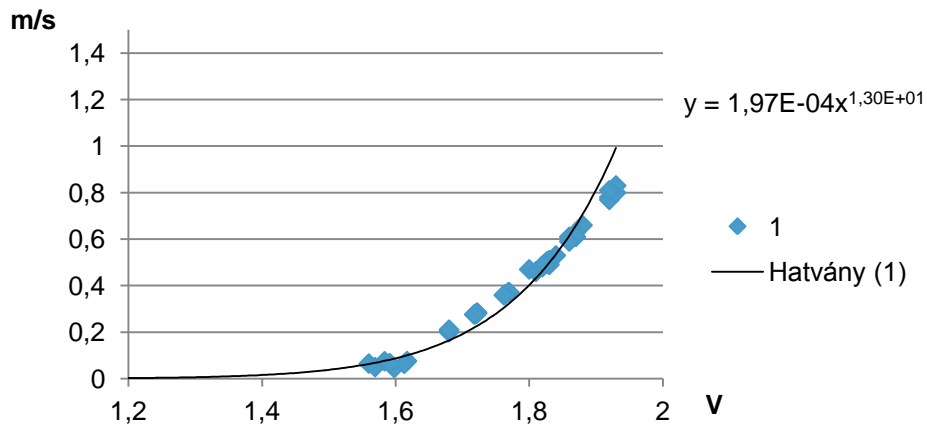
12. Diagram 3-es számú termo ananóméter kalibrációja polinommal közelítve.

A függvényképén jól látszik, hogy körülbelül mindhárom esetben 1 m/s-nál van egy inflexiós pontja, ahol a függvény konkávból konvexbe vált, ezért két görbét illesztünk, egyet a mért adatsor elejére a töréspontig, és egyet meg utána, a kettő között egy egyszerű „HA” függvény fog váltani a feszültség érték alapján.

Olyan függvényekkel közelítünk, amik lekövetik a konvex, konkáv alakot, így hatvány, illetve logaritmikus függvényeket illesztünk rá.

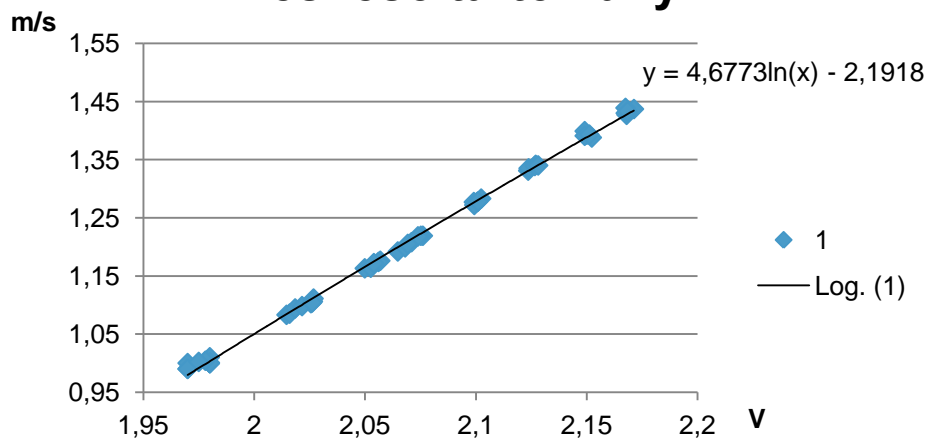
A nagyon kicsi, közel nulla légsebességet a szélcsatornában nem tudunk előállítani viszont ez a tartomány elengedhetetlen a megfelelő pontosságú függvény felírásához, ezért a két műszer összehasonlításánál kapott értékeket is felhasználtuk nyers adatként.

1-es alsó tartomány

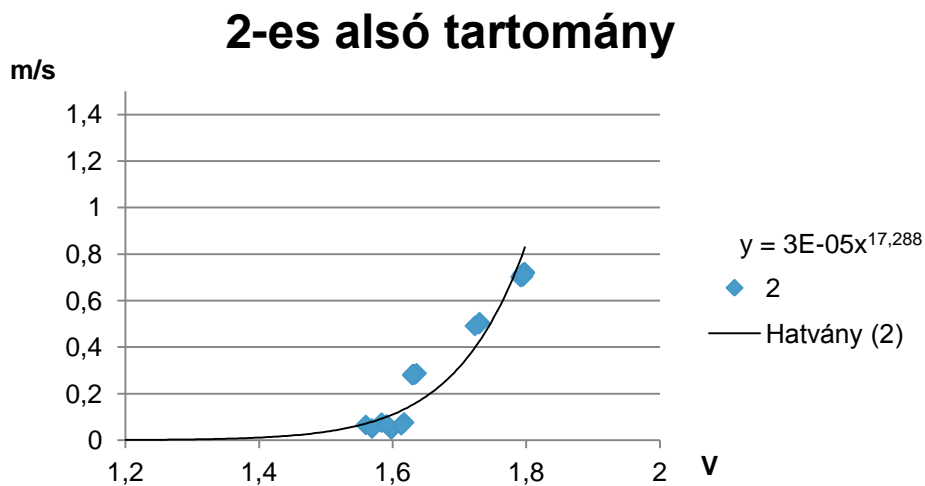


13. Diagram *1-es számú termo anemométer alsó tartományának közelítése hatvány függvénnyel.*

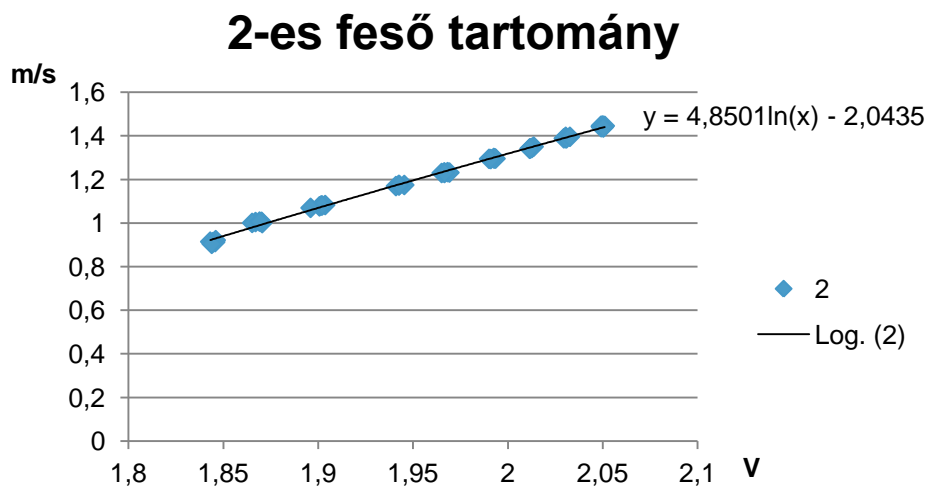
1-es felső tartomány



14. Diagram *1-es számú termo anemométer felső tartományának közelítése logaritmus függvénnyel.*

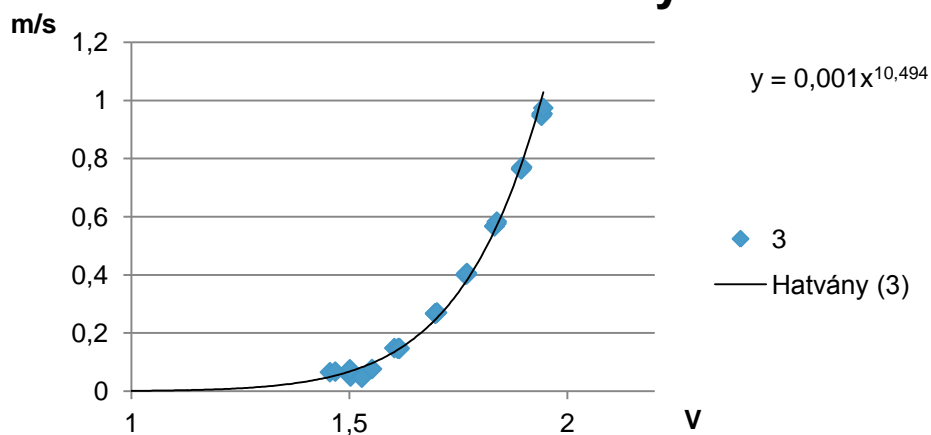


15. Diagram 2-es számú termo anemométer alsó tartományának közelítése hatvány függvénnyel.



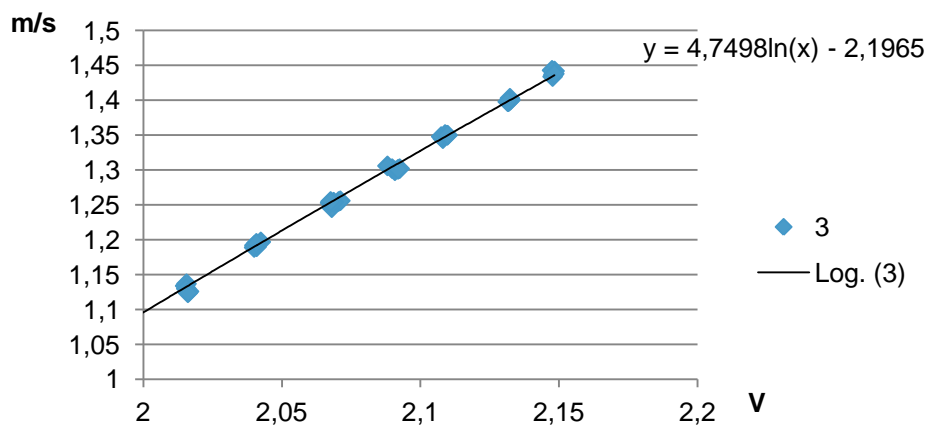
16. Diagram 2-es számú termo anemométer felső tartományának közelítése logaritmikus függvénnyel.

3-as alsó tartomány



17. Diagram 3-as számú termo anemométer alsó tartományának közelítése hatvány függvénnyel.

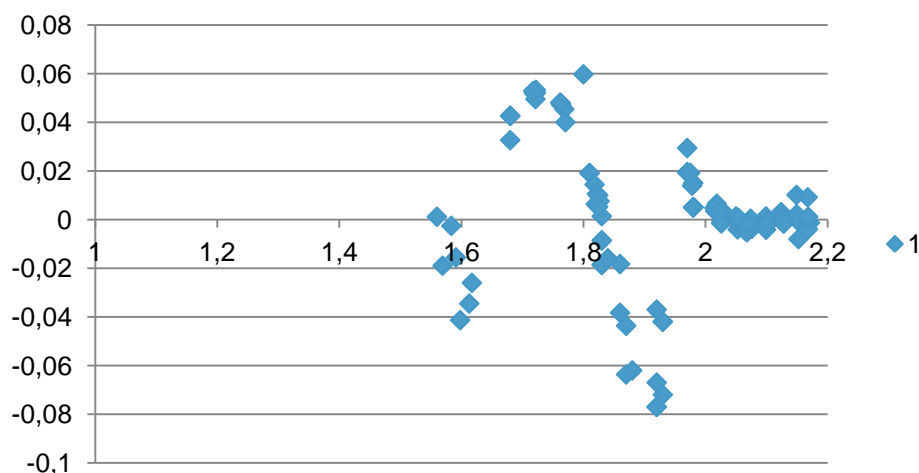
3-as feső tartomány



18. Diagram 3-as számú termo anemométer felső tartományának közelítése logaritmikus függvénnyel.

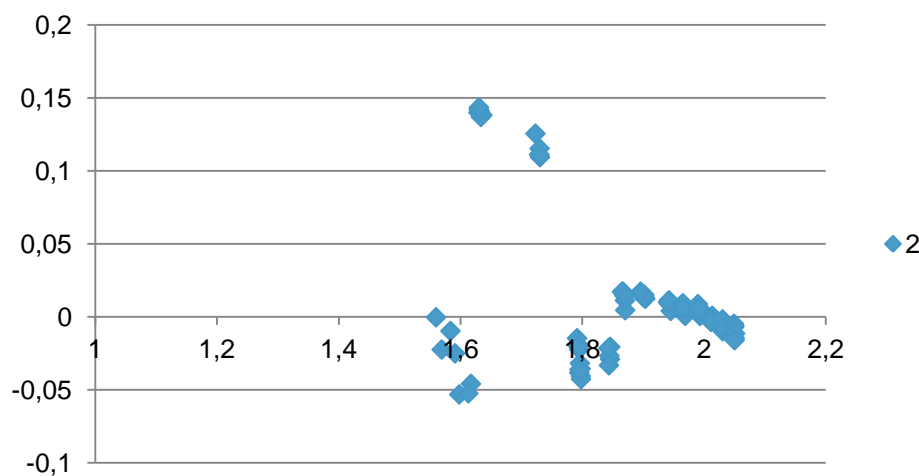
Kiplottoltuk az egyes illesztési görbék hibáit, (a mért tartományban, az x tengelyen a mért feszültség, az y-on a mért és az adott pontra az illesztési görbe alapján számított sebesség különbsége). Ha 0 a kapott érték, akkor tökéletesen megfelel egymásnak a számított és a valós légsebesség. A cél az, hogy ezek az értékek 0,05 m/s alá kerüljenek, ez alapján a hármas érzékelő teljesen jó, a kettesben pár kiugró adattól eltekintve szintén jól közelíti a valóságot, és az 1-es számú -0,08-0,06 között mozgó értékei is már majdnem tökéletesek.

1-es hiba plottolás



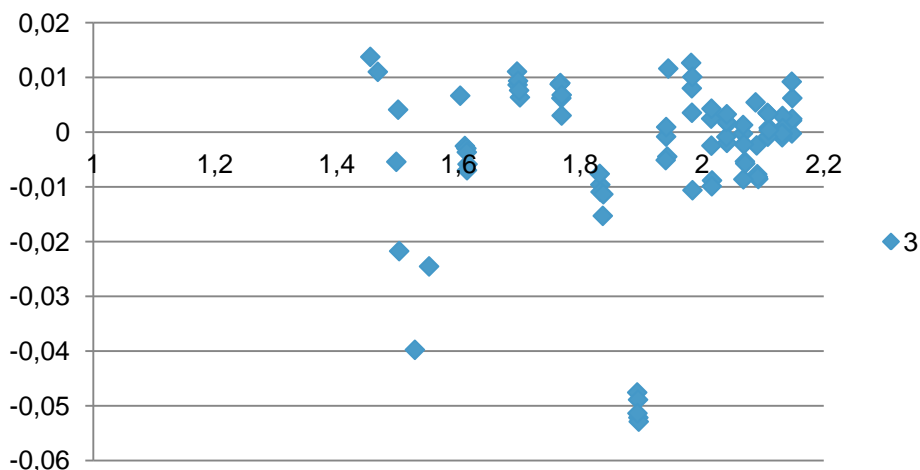
19. Diagram 1-es számú termo anemométer hibaplottolása.

2-es hiba plottolás



20. Diagram 2-es számú termo anemométer hibaplottolás.

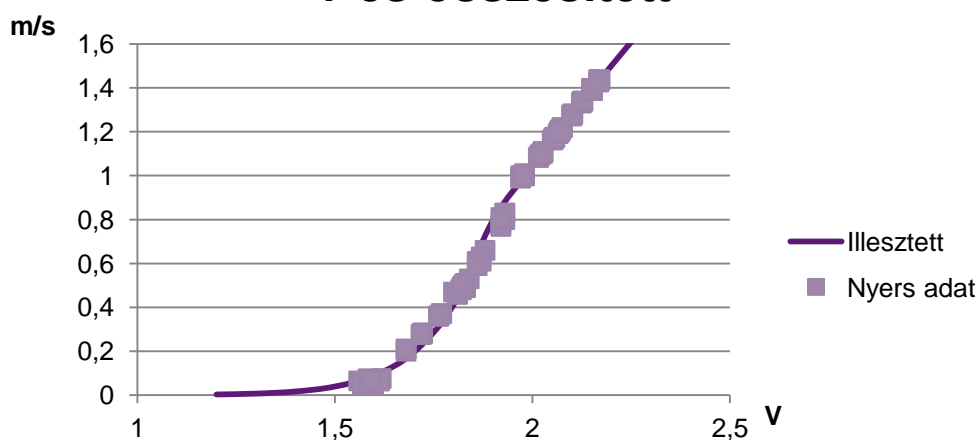
3-as hiba plottálás



21. Diagram 3-es számú termo anemométer hibaplottolás.

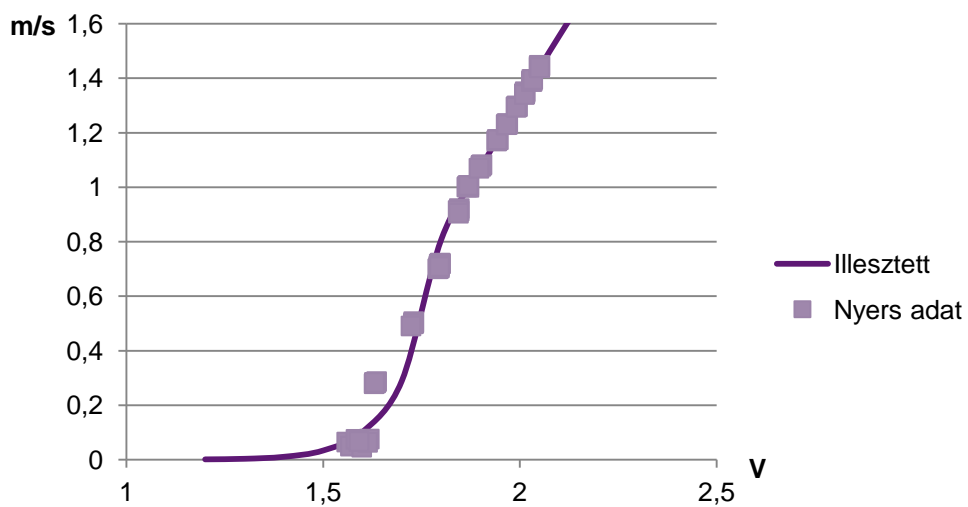
Elvégeztük a nyers adathalmaz és az illesztett, átszámolási görbének egy diagramra való kirajzolását, ez mutatja, hogy a görbéink jól követik a valós légsebességet, tehát a függvények elfogadható pontossággal váltják át a feszültséget sebességre. Kirajzoltuk a három érzékelőhöz tartozó átszámítási görbét is. (Lásd: 25. Diagram) Jól látszik, hogy az egyes és a hármas majdnem megegyeznek, a kettes viszont kicsit eltér, ahogy az a hibaplottolásnál is kiderült, de ez elhanyagolhatóan kis eltérés.

1-es összesített



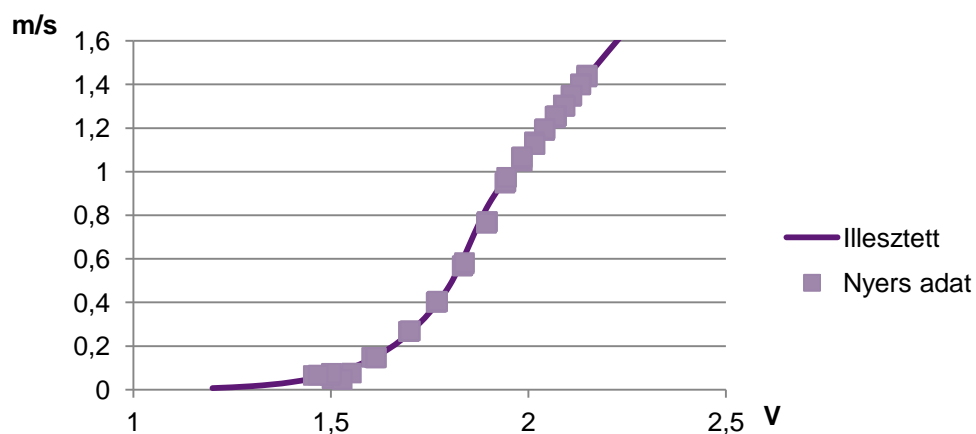
22. Diagram 1-es számú termo anemométer nyers adathalmaza és kalibrációs görbéje.

2-es összesített

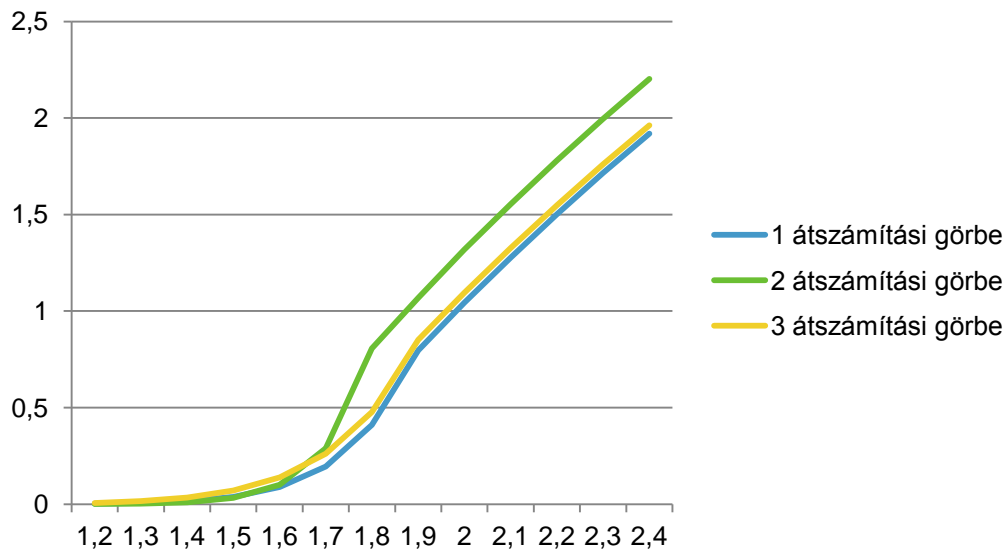


23. Diagram 2-es számú termo anemométer nyers adathalmaza és kalibrációs görbéje.

3-as összesített



24. Diagram 3-es számú termo anemométer nyers adathalmaza és kalibrációs görbéje.



25. Diagram

A három érzékelő átszámítási görbéje.

A sugárzás hőmérő és kalibrálása

A környező felületet hőmérséklete is hatással van a helységben tartózkodó komfortérzetére, hiszen az ember folyamatos sugárzásos hőcserében van azzal, ennek a meghatározására szolgál a közepes sugárzási hőmérséklet. A közepes sugárzási hőmérséklet az a fiktív hőmérséklet, mellyel a környezet pont sugárzásos egyensúlyban lenne. A közepes sugárzási hőmérséklet egy adott térbeli pontra értelmezhető, mivel a tér különböző pontjaiból az egyes eltérő hőmérsékletű felületek más-más térszög alatt látszanak. Minél kisebb szög alatt látszódik egy adott felület egy adott pontból, annál kisebb a besugárzási tényező. Annál kevésbé függ



10. Sugárzási hőmérséklet érzékelőn

a közepes sugárzási hőmérséklet az adott felületi hőmérséklettől, és ennek megfelelően annál kisebb hatása van hatása az abban a pontban tartózkodó emberre.

A közepes sugárzási elvileg számítható lenne az összes térelhatároló felület felületi hőmérséklete és a geometria alapján. Ez azonban praktikusán igen nehezen lenne megvalósítható (mert például a felületi hőmérséklet pontról pontra változik, és kellő pontossághoz igen sok helyen kellene mérni), ezért célravezetőbb a közepes sugárzási hőmérséklet direkt mérése. Erre a célra szolgál az úgynevezett gömb hőmérő, vagy sugárzási

hőmérő, más néven Vernon hőmérő. Ez egy megfelelő méretű matt feketére festett rézgömb közepében elhelyezett hőmérőből áll. Egy ilyen érzékelő ára az egész általunk készített mérőállomás sokszorososa, holott gyakorlatilag igen egyszerű a felépítése. Ezért két saját érzékelőt készítettünk egy úszószelep réz úszójából, melybe egy tömbszelence segítségével egy egyszerű DS18B20¹⁸ típusú hőmérőt rögzítettünk. (A rézgömb beszerzését Bakonyi Dániel intézte, a szükséges átalakításokat Szalai Dóra csinálta.)

A sugárzás hőmérő formája fontos. Ez biztosítja, hogy a környezeti felületi hőmérsékleteket milyen arányban „látja” a közepébe dugott hőmérő. A gömb egy ülő embert szimulál, míg egy forgás ellipszoid az álló emberre ható közepes sugárzást közelíti jobban. Az anyaga réz, mert jó a hővezető képessége, vékony a fala és könnyű, tehát gyorsan beáll a hőmérséklet. Matt fekete színű, hogy elnyelje a hosszú hullámú sugárzást, hogy minél inkább egy fekete testre hajazzon. A közepében kialakult hőmérsékletet a sugárzásos kapcsolat határozza meg, hőmérőt ezért a közepében helyeztük el.

A jövőben további érzékelőkkel is tervezzük kiegészíteni a mérőállomásunk, az ellipszoid formájú mérőn kívül, egy aszimmetrikus sugárzásmérővel, mely a nagy hőszugárzásbeli különbség mérésére szolgál, például üveghomlokzatnál, vagy nagy hőtermelésű felületeknél és berendezéseknél fellépő aszimmetrikus sugárzás miatti diszkomfort problémák vizsgálatára.

A DS18B20 hőmérő chip-ek gyárilag kalibráltak (+/- 0.5 [K]), de az egész sugárzási hőmérő, mint egység kalibrálása, illetve legalábbis ellenőrzésre szorult. Ehhez az általunk készített érzékelőt és a Hőfizika Labor hőmérőjét tudtuk összehasonlítani egy párhuzamos méréssel. a két műszert szinte tökéletesen megegyezt, így nem volt szükség további pontosításra.

A komplett mérőállomás összevetése a Hőfizika Labor PMV állomásával

Az érzékelők egyenkénti kalibrálását, ill. ellenőrzését követően, fontos, hogy a teljes, összeállított berendezésünket is összevegyük a Hőfizika Labor mérőállomásával.

¹⁸ [10] Maxim integrated: DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. 2008.

A két mérőállomást a Hőfizika Labor a BME K épület 3. emeleti helyiségében állítottuk fel egymás mellé. A labor helyisége termikusan eléggé homogénnek feltételezhető ahhoz, hogy a műszerek kissé eltérő vízszintes pozíciója ne okozzon jelentős eltérést a mért fizikai paraméterekben. A sugárzási és léghőmérséklet mérőket azonos magasságba állítottuk be, hogy az esetleges hőmérséklet rétegződés, illetve a padló és a plafon eltérő besugárzási tényezője miatti hibát kizárhassuk az összehasonlításnál. A mérést 2015.09.29.-én 14:15kor kezdtük a méréseket és 2015.09.30.-án 10:11-kor fejeztük be. Az eszközöket otthagytuk a Laborban és maguktól, hiba nélkül üzemeltek. Az eredményekből látszik, hogy az általunk készített mérőállomás hasonló pontosságú, mint a laborban található gyári berendezés.



11. Kép Hőfizika Labor és az általunk készített mérőberendezés

Az összehasonlító mérés eredményei a következők:

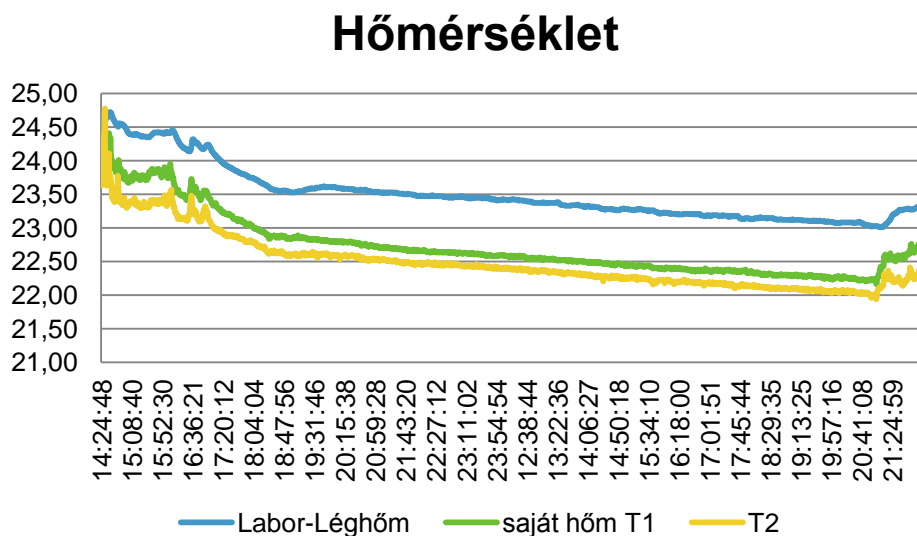
A korábbiakban bemutatott kalibrációs görbével mért légsebesség is jól leköveti a referenciaműszert. (Lásd: 27. Diagram.)

A sugárzásmérőnk közel tökéletesen megegyezik a Labor érzékelője által mérttel. (Lásd: 28. Diagram)

A mért relatív páratartalomnál körülbelül 2% eltérés mutatkozott, ami nagyobb volt a vártnál. Meg kell azonban jegyezni, hogy a kapacitív páratartalom érzékelők mérési hibahatára eleve $\pm 1.5-2[\%]$ körüli. (Lásd: 29, Diagram)

Mindkét mérőállomáson a léghőmérséklet mérését a páratartalom érzékelőkben található hőmérő végzi. A levegő pontos hőmérsékletméréséhez ki kell zárunk az infravörös sugárzásnak a hatását, ehhez valamilyen sugárzás árnyékoló szükséges, például egy kettős falú, alumínium bevonatos védőcső az érzékelő körül (az alumínium fólia, mint alacsony emissziójú felület csökkenti a sugárzásos hőcserét mind az érzékelő mind a környezet felé, így biztosítva hogy az érzékelő egyensúlyi hőmérséklete minél inkább a léghőmérsékletnek feleljen meg). Az összehasonlító mérés időpontjáig a mi sugárzásvédőnk még nem készült el, míg a Labor érzékelője egy fehér műanyag védőelemben van elhelyezve, ami infravörös sugárzás szempontból gyakorlatilag közel fekete testként működik, tehát a benne kialakuló hőmérsékletre a sugárzási hőmérsékletnek is lehet hatása. Valószínűleg ezzel magyarázható,

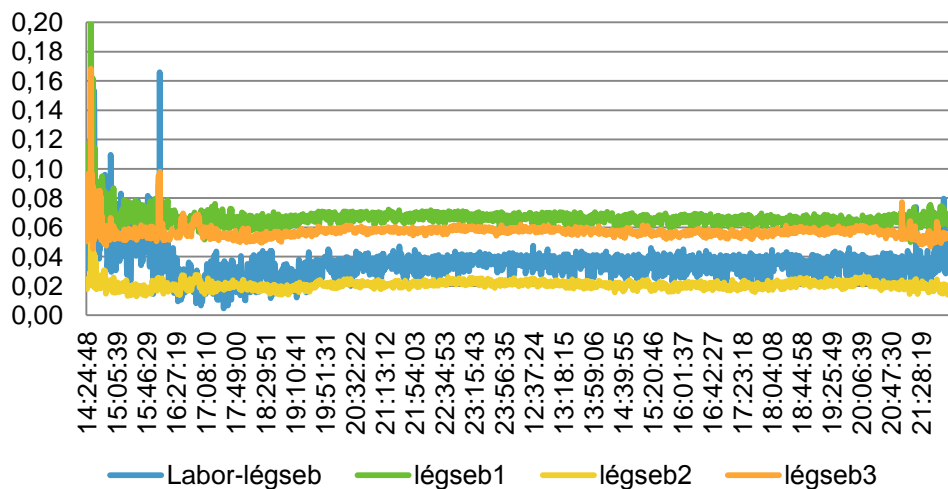
hogy a mért léghőmérsékletekben nagyobb eltérést tapasztaltunk, mint hogyan vártuk, (átlagosan 0,9 fok) illetve amit a korábbi műszerenkénti kalibrációs mérések jeleztek. (Lásd: 26, Diagram). Ezt a hipotézist támasztja alá, hogy a labor berendezése által mért léghőmérséklet, a mi általunk mért léghőmérséklet és a közepes sugárzási hőmérséklet között volt. A következő lépés, hogy a labor és a mi érzékelőinknek is készítünk egy megfelelő védelmet és úgy végezzük el az összehasonlító méréseket. Ezt a mérést a dolgozat leadásáig már nem volt elég idő elvégezni, de a TDK konferenciáig megpróbáljuk megcsinálni, és reményeink szerint ezt a lehetséges hibaforrást is kizárjuk majd.



26. Diagram

Két Mérőberendezés összehasonlítása: Hőmérséklet.

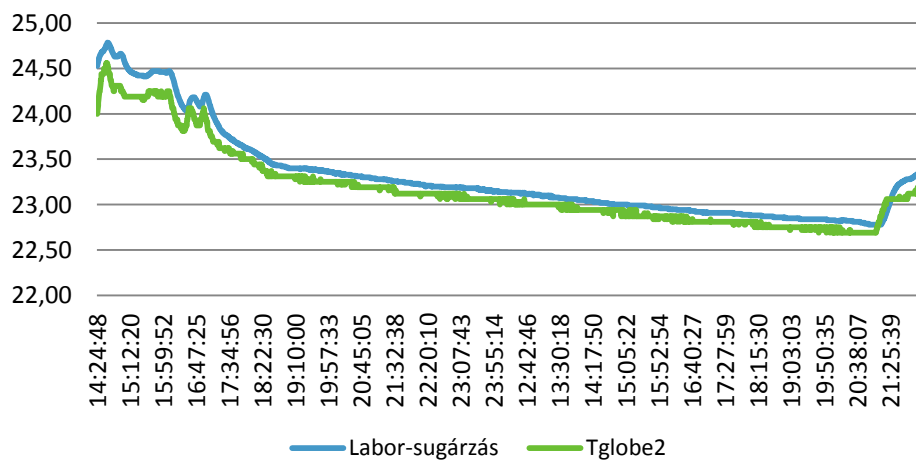
Légsebesség



27. Diagram

Két műszer összehasonlítása: Légsebesség.

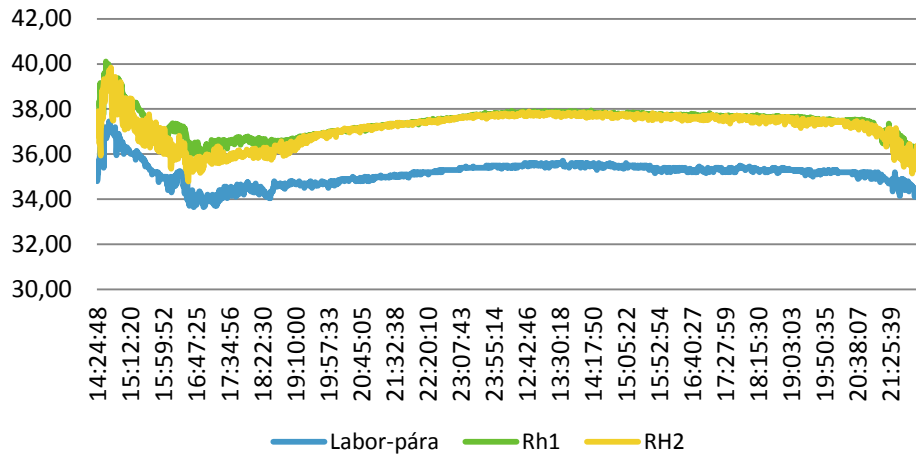
Sugárzás



28. Diagram

Két műszer összehasonlítása: Sugárzási hőmérséklet.

Páratartalom



29. Diagram

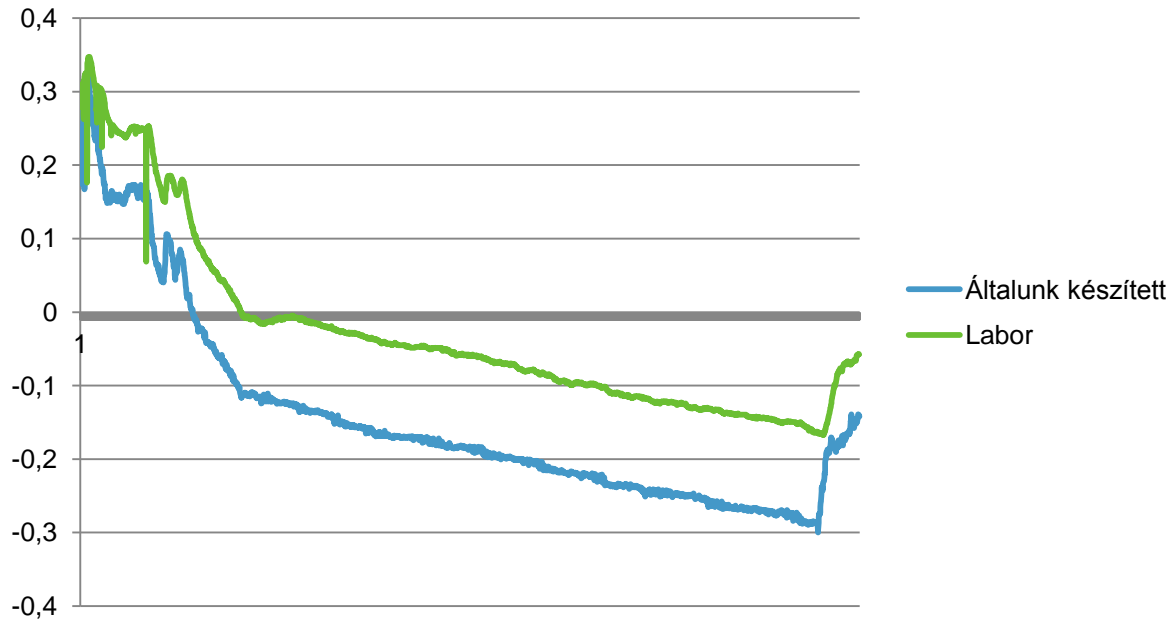
Két műszer összehasonlítása: Páratartalom

Végezetül az egyes érzékelők által mért adatok összehasonlításán túl kiszámítottuk a mi berendezésünk eredményei alapján a PMV értékeit és összevetettük a labor műszerének hasonló adatsorával. A met és clo értékeket 1-nek vettük.

Kiszámítottuk a PMV-t, mindkét mérőállomás adatai alapján. Mindkettő alapján kellemes hőérzet volt a laborban, a mi berendezésünk szerint átlagosan 0,14, a laboré szerint átlagosan 0,02 PMV érték volt. Az eltérés 0,12 a két PMV érték között, ami az eltérő hőmérsékletből fakad, mi kb. egy fokkal kevesebbet mértünk. A már említett hőmérsékletmérés kalibrációt követően sikerül kiejtenünk ezt a hibát is, vagy esetleg az is bebizonyosodhat, hogy a mi szenzorunk mért jobban. Addig is ez a 0,12-es eltérés egy első prototípusnak megfelelő.

(Lásd: 30. diagram.)

Két berendezés PMV



30. Diagram A két mérőegység adatai alapján számított PMV-jének összehasonlítása.

Demonstrációs mérés

A mérőállomás összeállítása és kalibrálása után egyelőre sajnos nem jutott idő mindazokra a mérésekre, amiket eredetileg elterveztünk, de folytatjuk a kutatást. (terveinket lásd a „jövőbeni tervek” fejezetben.¹⁹) Ezért csak egy rövid demonstrációs mérést tudtunk elvégezni, hogy demonstráljuk az elkészült eszköz használatát. Ez pedig egyik konzulensünk Dobszay Gergely szerda reggeli Épületszerkezettan 6 előadása volt a K épület K255-ös termében 2015.10.07.-én. Aznap az időjárás borult volt, a hőmérséklet reggel 12 fok, 15 mm csapadék esett, a maximum szélsőségek 17 m/s és a páratartalom 89% volt.

A mérőberendezésünkkel megmértünk egy Épületszerkezettan előadáson uralkodó hőkomfort jellemzőket. Reggel 7:45-kor kezdtük a mérést, amikor még nem voltak hallgatók a teremben. Nyolc óra 10 és 20 perc között érkezett a diákok zöme, a maximum létszám 65 fő volt a 208 fős teremben.

A mérőberendezésünket a terem közepében helyeztük, hogy reális képet kapjunk a légállapot változásról. Az egyes számú érzékelők egy ülő embernek fejmagasságban (130 cm), a kettes számú szenzorok a láb magasságában (50cm) kerültek elhelyezésre. A légsebességet fejmagasságban mértük.

A kezdeti légállapothoz képest, ahogy érkeztek a diákok a páratartalom emelkedett, a hőmérséklet a nyitott ajtó miatt csökkent, hasonlóan a sugárzási hőmérséklet is. 8:10-kor kinyitották az ablakot. Ez jól megfigyelhető a hőmérsékletek csökkenésén és a légsebesség felgyorsulásán. Az óra első felében az értékek stagnáltak, illetve a hőmérsékletek lassú emelkedést mutatnak, ez az emberek hőleadásából fakad. 9:05-kor volt szünet, a kis hőmérséklet visszaesés és sebességgyorsulás az ajtónyitás miatt alakult ki. Az előadás második felében a légállapotok szintén stagnáltak, csak a sebességekben észlelhető kisebb emelkedés a már említett okok miatt.

Megfigyelhető a kettes hőmérőnek a kiugrása 9:05-kor, ekkor valaki megfogta az érzékelőt.

A mérőberendezésünk hiba nélkül működött és a valós értékeket mutatta.

Kiszámítottuk a PMV-t, amely átlagosan 0,14 lett, a PPD pedig 5,4 tehát az emberek többsége elégedett volt a terem légállapotával. Lásd: 35. diagram.

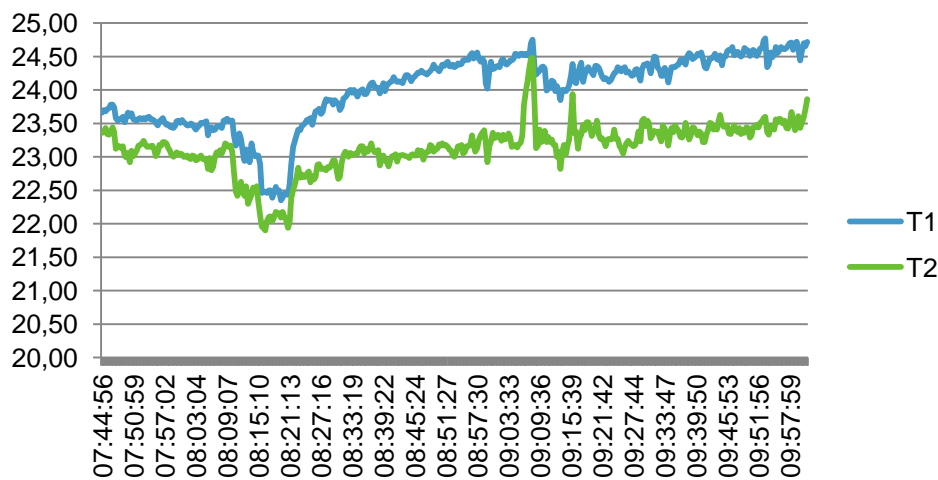
A terem komfort szempontjából ebben az esetben jó volt, de ennek eléréséhez ki kellett nyitni az ablakot illetve az ajtót. A páratartalom hirtelen emelkedésére most megoldás volt az ablaknyitás, de más kinti légállapotok mellett más hatása van az ablaknyitásnak, ezt is vizsgálni

¹⁹ [11] A kutatás további menete

fogjuk.. Az ajtónyitás is megoldás, amíg nincs a folyosón zaj, amint zajongás van ez nem alkalmazható. A jó komfort kialakulásához szükséges volt az alacsony létszám. Ha tele lett volna az előadó, akkor a hőmérséklet és a páratartalom is jóval magasabb lett volna.

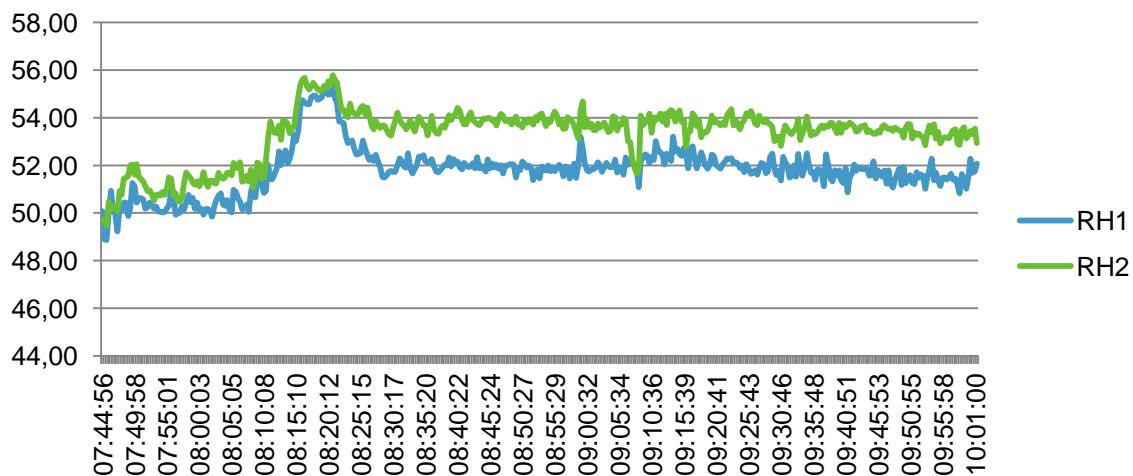
Minden teremnek meg vannak a korlátai, az, hogy ebben az esetben jól szerepelt, nem jelenti azt, hogy mindig jó. Fogunk mérni más termekben is, például kisebbekben, zsúfoltabbakban.

Hőmérséklet



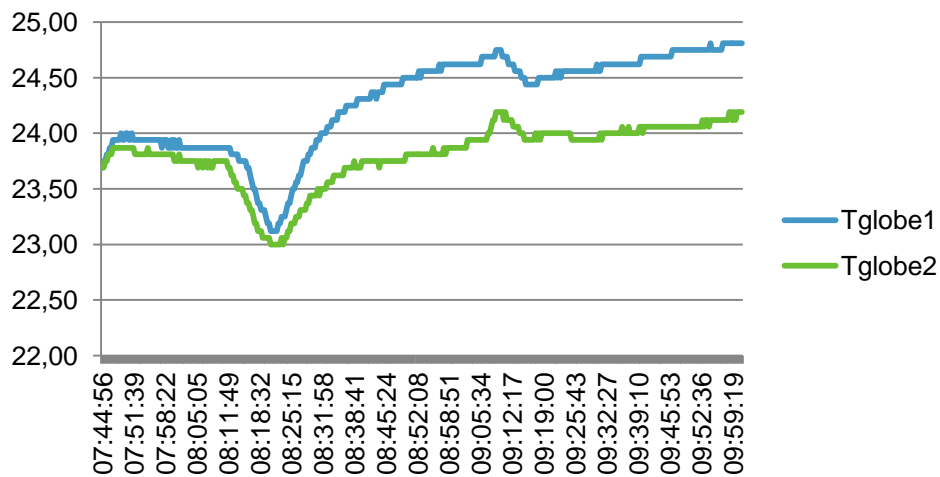
31. Diagram *Épületszerkezettan 6 előadás ideje alatti hőmérsékletváltozás.*

Páratartalom



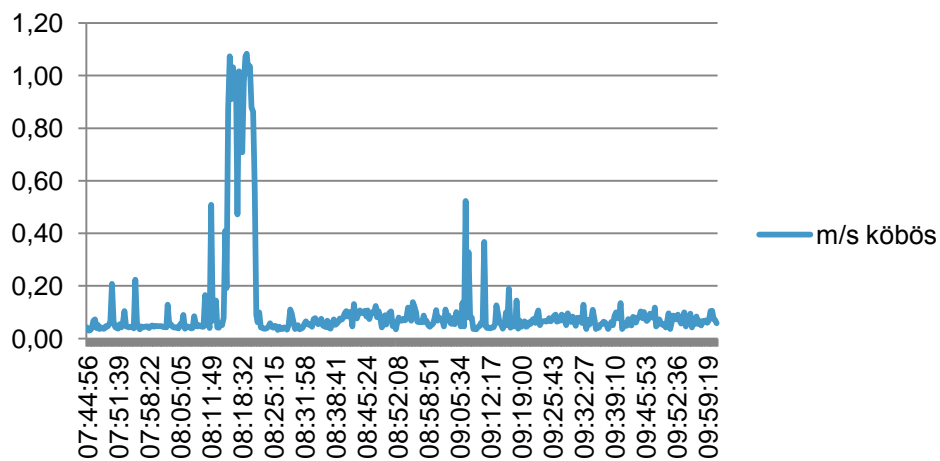
32. Diagram *Épületszerkezettan 6 előadás ideje alatti páratartalom változás.*

Sugárzási hőmérséklet

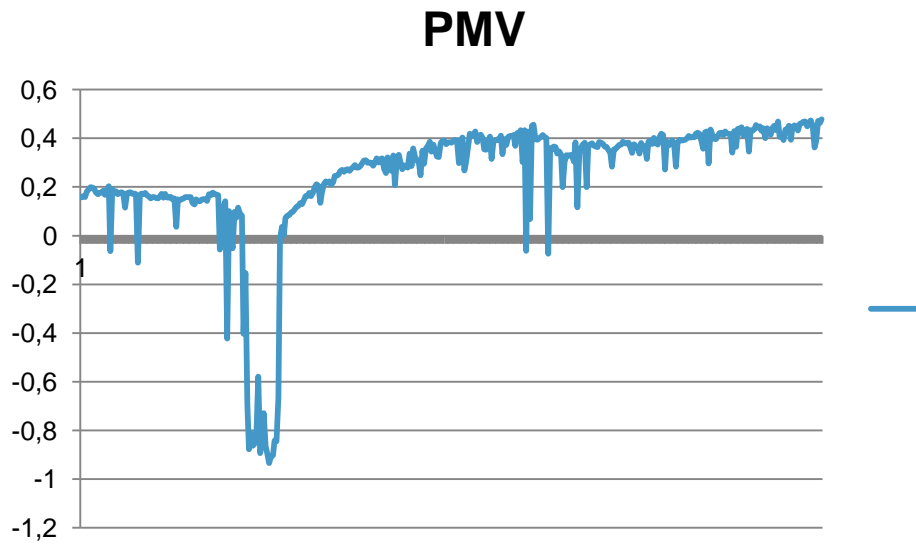


33. Diagram *Épületszerkezettan 6 előadás ideje alatti sugárzási hőmérsékletváltozás.*

Légsebesség



34. Diagram *Épületszerkezettan 6 előadás ideje alatti légsebesség változás.*



35. Diagram *Épületszerkezettan előadáson történt mérések alapján PMV.*

A kutatás további menete

Projektünket folytatni szeretnénk a mérőberendezésünk fejlesztésével, további mérésekkel. Gyakorlati hasznosságát is meg szeretnénk mutatni, azzal, hogy egy árnyékolót vezérlünk az állomásunk által mért adatok és a kinti légállapotok függvényében.

A páratartalom érzékelők védődobozának az elkészítése lesz a következő lépésünk, a saját és a Labor szenzorjaira is, illetve ezzel elvégezni az összehasonlító mérést a két eszköz között. Szeretnénk további érzékelőket is elhelyezni az állomásunkon, mint például az álló ember komfortját mérő sugárzásérzékelő, az aszimmetrikus sugárzásmérő vagy a széndioxid mérő.

A méréseket folytatni szeretnénk különböző nagyságú termekben, különböző hallgatói létszám mellett.

Szeretnénk az Épületszerkezettan tanszék egyik árnyékolójának vezérlését is elkészíteni, a belső és a külső paraméterek alapján.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk köszönetet mondani mindazoknak, akik lehetővé tették TDK dolgozatunk létrejöttét.

Szeretnénk megköszönni témavezetőnknek Dr. Dobszay Gergely PhD-nak, aki kitartó támogatásával mindvégig segítette munkánkat.

Továbbá szeretnénk megköszönni Bakonyi Dánielnek a folyamatos rendelkezésre állást és véleményezést, illetve a sok munkaórát, amit a mérőállomás megépítésébe befektetett.

Külön köszönet Orbán Tamásnak, a BME Hőfizika Labor munkatársának, aki fontos szerepet vállalt a kalibrálásokban és biztosította számunkra a referencia műszert

Gulyás Andrásnak a Kármán Tódor Szélsatorna Laboratórium munkatársának, aki rendelkezésünkre bocsátotta szélsatornájukat és kiemelkedő segítséget nyújtott az anemométerek kalibrálásához.

Végül, de nem utolsó sorban nagyon köszönjük Dobszay Bálint segítségét, aki a programozási nehézségeknél igyekezett rendelkezésünkre állni, valamint a jövőbeni céloknak megfelelően segített az árnyékoló installálásában.

Hivatkozás

- [1] Bánhidi László – Kajtár László: Komfortelmélet. Bp. Műegyetemi Kiadó, 2000.
- [2]http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0013_15_Szenzorok_es_aktuatorok-2/10.png
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Povl_Ole_Fanger
- [4] Dr. Magyar Zoltán: Komfortelmélet. Egyetemi előadás, Pécs 2015.
- [5] <http://mahara.eet.bme.hu/artefact/file/download.php?file=3245&view=807>
- [6] http://www.ara.bme.hu/cms/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1
- [7] http://www.ara.bme.hu/cms/index.php?option=com_content&task=view&id=22&Itemid=32
- [8] Ladyada: DHTxx Sensors. 2013.07.30. 02:30.
- [9] Ensirion the sensors company: Datasheet SHT7x (SHT71, SHT75). 2011.12.
- [10] Maxim integrated: DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. 2008.
- [11] A kutatás további menete