

## 2. MÉRÉS

### VÍZMELEGÍTŐ IDŐÁLLANDÓJÁNAK MEGHATÁROZÁSA

#### 1. Bevezetés

##### A mérés célja,

egy vízmelegítő időállandójának meghatározás adott térfogatáram és fűtési teljesítmény mellett. Az időállandó mellett a vízmelegítő redukált tömege is meghatározható, melynek segítségével a vízmelegítő főbb dinamikai tulajdonságai leírhatók. A paraméterek meghatározása a hőmérséklet szabályozás szempontjából fontos.

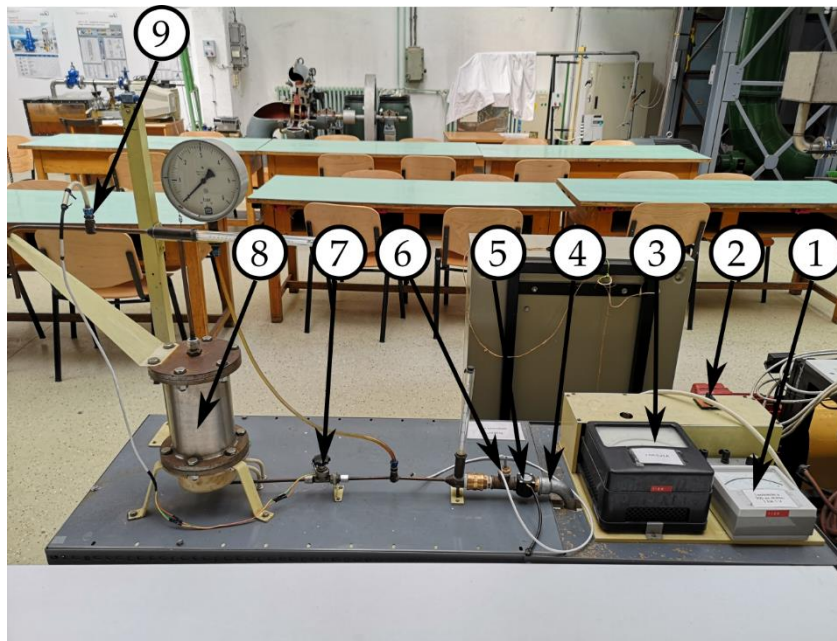
##### A mérés rövid leírása:

A mérés során egy átfolyó vízmelegítőbe belépő és az onnan kilépő folyadék hőmérsékletét mérjük. Az átfolyó víz térfogatáramát digitális vízóra segítségével mérjük. A mérés során állandósult térfogatáramot állítunk be, majd a vízmelegítőt kikapcsolva hagyva várjuk, hogy kialakuljon egy állandósult állapot. Ebből az állapotból indítjuk a mérést. A vízmelegítőt bekapcsoljuk és a változók értékét adatgyűjtő kártya segítségével rögzítjük. A mért adatokból a vízmelegítő redukált tömegét és időállandóját meghatározzuk.

#### 2. Mérés során használt eszközök

##### A méréshez használható berendezés

A berendezés az alábbi ábrán látható:



A vízmelegítő berendezés





YF-S201 típusú digitális vízóra

A működése megegyezik a háztartásokban is használt vízórával, annyi különbséggel, hogy a turbinakerékre nem egy óramű van szerelve, hanem egy mágnes. A mágnes elhaladását egy úgynevezett Hall-szenzor érzékeli, és a jel vezetéken lead egy impulzust. Az impulzusok frekvenciája (adott idő alatt leadott impulzusok száma) lesz arányos a térfogatárammal. A szenzor kalibrációs görbéje:

$$q = 0.1407f + 0.1053 \left[ \frac{l}{perc} \right]$$

ahol  $q$  a térfogatáram l/percben, míg  $f$  az impulzusok frekvenciája [Hz]-ben.

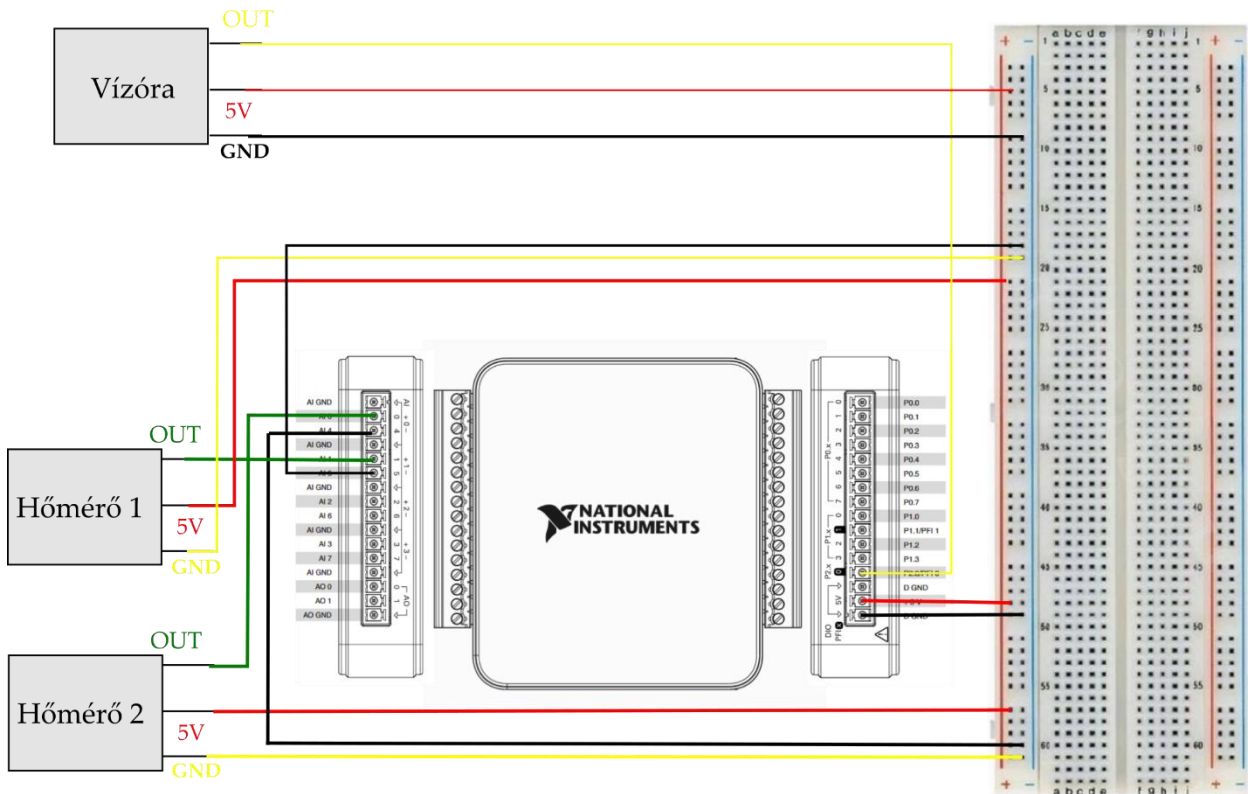
A sűrűség ismeretében pedig ebből a tömegáram is meghatározható. A szenzorok bekötésének módját később ismertetjük.

### 3. A mérés leírása

A szenzorok és a számítógép csatlakoztatása előtt érdemes a berendezést kipróbálni, hogy az esetlegesen szivárgó víz ne tegyen kárt a számítógépben vagy az adatgyűjtőkártyában.

A mérés megkezdése előtt a szenzorokat az adatgyűjtőkártyához kell csatlakoztatni.

A hőmérséklet szenzorokat érdemes a kártya 5V –os kimenetéről táplálni, jelét pedig két csatornán differenciál módban mérni. A YF-S201 digitális vízóra mérő digitális jelét a kártya erre alkalmas PFI 0 csatornáján számlálóval mérni. A javasolt kapcsolási rajz a 2. ábrán látható.



A szenzorok bekötése az NI USB 6001 adatgyűjtő-kártyába

A mérés során először egy állandósult kezdeti állapot elérése a célunk. A 1. ábrán 7-essel jelölt szelepet kinyitjuk, és beállítjuk a kívánt térfogatáramot. (A 2-es jelű kapcsolót 0 helyzetben hagyjuk, tehát a vízmelegítő nem fűti a vizet.) Ellenőrizzük a be és kilépő víz (6 és 9 jelű szenzor az 1. ábrán) hőmérsékletét. Amennyiben egy közel állandósult állapot állt be, elindítjuk a mérés rögzítését. Rögzítjük a két hőmérő jelét, illetve számoljuk a vízóra által leadott impulzusokat. Ezek után bekapcsoljuk a vízmelegítőt a kapcsoló 1-es helyzetbe állítva. A mérés ideje nagyjából 5-10 perc a térfogatáramtól függően. Közben lejegyezzük az analóg feszültség (3-as jelű) és árammérő (1-es jelű) eszközök értékeit.

## 4. A mérés kiértékelése

### Vízmelegítő modellezése

A vízmelegítőt írjuk le egy koncentrált paraméterű modellel. A belépő víz hőmérsékletét tételezzük fel konstansnak  $T_1$ , a kilépőt pedig időben változó, amit  $T$ -vel jelölünk a továbbiakban. A vízmelegítő hőmérsékletét is írjuk le ezzel a hőmérséklettel, ami nyilván durva közelítés, hisz a jelentős hőmérséklet különbségek lehetnek benne. A vízmelegítő energia egyenlete a következőképp foglalható össze:

Vízmelegítő melegedése = Fűtőszál villamos teljesítménye – Környezetnek leadott hővesztés + a belépő víz energia árama - a kilépő víz energia árama

Ezt matematikailag a következő egyenlettel írható le

$$m_0 c_f \frac{dT}{dt} = P_{vill} - P_{veszt} - \dot{m} c_v (T - T_1), \quad (1)$$

ahol  $m_0$  a vízmelegítő tömege,  $c_f$  a vízmelegítő átlagos fajhője,  $t$  az idő,  $P_{vill}$  a bevezetett villamos teljesítmény,  $P_{veszt}$  a környezetnek leadott hőveszteség,  $\dot{m}$  az átáramlott víz tömegárama (szivárgásoktól eltekintünk),  $c_v$  a víz fajhője. Mivel sem  $m_0$  sem  $c_f$  nem ismert, érdemes a redukált tömeg fogalmát bevezetni a víz fajhőjének felhasználásával

$$m_0 c_f = m_{red} c_v. \quad (2)$$

Ezt visszaírva az első egyenletbe kapjuk:

$$m_{red} c_v \frac{dT}{dt} = P_{vill} - P_{veszt} - \dot{m} c_v (T - T_1). \quad (3)$$

Átrendezve a differenciál egyenletet:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{P_{vill} - P_{veszt}}{m_{red} c_v} - \frac{\dot{m}}{m_{red}} (T - T_1). \quad (4)$$

Ez egy elsőrendű inhomogén differenciálegyenlet. A megoldáshoz szükséges még egy kezdeti érték, feltételezzük, hogy  $T - T_1$  azaz a hőmérséklet különbség a víz és a vízmelegítő közt 0 a  $t = 0$  időpillanatban, mielőtt vízmelegítő fűtőszálát bekapcsolnánk.

A veszteség ( $P_{veszt}$ ) valószínűleg a hőmérséklettől és további paraméterektől (környezet hőmérséklete, páratartalma, légmozgás) függő változó. Ezeket a mérés során nem tudjuk figyelembe venni, ezért az egyszerűségért feltételezzük egy konstans értéknek. Ekkor a (4)-es egyenlet analitikusan megoldható:

$$T - T_1 = \frac{P_{vill} - P_{veszt}}{\dot{m} c_v} (1 - e^{-t \dot{m} / m_{red}}). \quad (5)$$

Az egyenlet dimenziótlanítható a következő mennyiségek bevezetésével:

Dimenziótlan hőmérséklet:

$$T^* = \frac{\dot{m} c_v}{P_{vill} - P_{veszt}} (T - T_1). \quad (6)$$

Dimenziótlan idő:

$$t^* = \frac{\dot{m}}{m_{red}} t = t / \tau, \quad (7)$$

ahol  $\tau = \frac{m_{red}}{\dot{m}}$  hányados a rendszer időállandója. Fontos megjegyezni, hogy a redukált tömeg a rendszert jellemző paraméter, míg az időállandó már térfogatáram függő, ami változhat különböző beállítások (különböző szelepállás vagy hálózati tápnyomás) mellett.

### Paraméterek meghatározása a mérésből

A vízmelegítő modellezése során a  $T$  és  $T_1$  hőmérsékletet mérjük, a bevezetett villamos teljesítmény meghatározható a mért feszültség illetve áramerősség értékekből, míg a tömegáram a sűrűség és mért térfogatáram szorzataként határozható meg ( $\dot{m} = \rho q$ ).  $c_v$  a víz fizikai tulajdonsága, mely különböző táblázatokból elérhető. Ismeretlen paraméter a veszteség ( $P_{veszt}$ ) illetve a redukált tömeg ( $m_{red}$ ).

A használt hőmérséklet szenzorok pontossága  $\pm 0.9$  °C, így a  $T - T_1$  változó értéke az kezdeti egyensúlyi állapotban nem biztos, hogy nulla. Ezt korrigálnunk kell. Érdemes a  $\Delta T = T - T_1$  változót bevezetni, hisz a rendszert főleg a hőmérsékletkülönbség írja le, az abszolút hőmérséklet szerepe (amíg nem forr a víz) nem jelentős. A korrekció könnyedén elvégezhető, ha a bekapcsolás előtti  $\Delta T$  értékek átlagát kivonjuk  $\Delta T$ -ből.

Vegyük észre, hogy az (5)-ös egyenlet, egy új egyensúlyi hőmérséklet felé tart, ha kellően sok idő telik el, a szorzat második tagja 1. Az új egyensúlyi hőmérséklet értéke:

$$\Delta T_{\infty} = T_{\infty} - T_1 = \frac{P_{vill} - P_{veszt}}{\dot{m} c_p} \quad (8)$$

$\Delta T_{\infty}$  könnyedén számolható egy átlagolással a mérési adatsor végéből, abból pedig  $P_{veszt}$  már meghatározható.

$m_{red}$  kiszámításához valamiféle görbeillesztést kell végeznünk. Mivel egy exponenciális függvény, célszerű annak logaritmusát venni, és utána egyenest illeszteni. Ennek a lépései a következők.  $\Delta T, \Delta T_{\infty}$  segítségével rendezzük át az (5)-ös egyenletet

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_{\infty}} = 1 - e^{-t \dot{m}/m_{red}}, \quad (9)$$

majd fejezzük ki az exponenciális tagot:

$$1 - \frac{\Delta T}{\Delta T_{\infty}} = e^{-t \dot{m}/m_{red}}, \quad (10)$$

és vegyük mindkét oldal természetes alapú logaritmusát

$$\ln\left(1 - \frac{\Delta T}{\Delta T_{\infty}}\right) = -t \dot{m}/m_{red}, \quad (11)$$

Az egyenlet alapján a látjuk, hogy a  $\ln\left(1 - \frac{\Delta T}{\Delta T_{\infty}}\right)$  kifejezés az időfüggvényében egy  $C = -\frac{\dot{m}}{m_{red}}$  meredekségű egyenes. Matlabban a természetes logaritmust a  $\log()$  függvénnyel számíthatjuk ki, míg az  $\ln\left(1 - \frac{\Delta T}{\Delta T_{\infty}}\right)$  meredekségét a „ *vissza per* ” operandussal. Ez az operátor tulajdonképpen az origon átmenő egyenes meredekségét számolja ki számunkra. Például:

$$C = \text{time} \backslash \log(1 - \text{DeltaT} / \text{DeltaT\_inf});$$

ahol  $C$  a meredekség,  $\text{time}$  az időpillanatok vektorba rendezve,  $\text{DeltaT}$  a mért hőmérsékletkülönbségek,  $\text{DeltaT\_inf}$  a hőmérséklet különbség egyensúlyi értéke a mérés végén. A meredekség  $(-\dot{m}/m_{red})$  ismeretében az időállandó és a redukált tömeg könnyedén meghatározható.

$$m_{red} = -\dot{m}/C \text{ és } \tau = -\frac{m_{red}}{\dot{m}} = -\frac{1}{C} \quad (11)$$

Fontos, hogy a levezetés során azt feltételeztük, hogy a  $t=0$  időpillanatban kapcsoljuk be a vízmelegítőt. Az illesztés során is ezt figyelembe kell vennünk, tehát a mért értékeket a bekapcsolásig törölnünk kell, vagy egy új változó bevezetésével ki kell vágnunk a mért jelből.

Egy  $v$  vektor első  $n$  elemének törlését a

$$v(1:n) = [];$$

parancs végzi el. Míg az első  $n$  elem kivágását

$$v2 = v((n+1):end);$$

parancsok segítségével oldható meg. Ez a sor létrehoz egy  $v2$  vektort, ami már nem tartalmazza az első  $n$  elemet.

A kiértékelés lépései összefoglalva:

1.  $\Delta T = T - T_1$  számítása
2.  $\Delta T$  korrigálása, hogy a vízmelegítő bekapcsolása előtt a hőmérséklet különbség 0 legyen
3.  $\Delta T_\infty$  és  $\dot{m}$  meghatározása, abból  $P_{veszt}$  kiszámítása
4. A jel elejének kitörlése vagy kivágása.
5.  $f(t) = \ln(1 - \frac{\Delta T}{\Delta T_\infty})$  görbe meredekségének kiszámítása.
6. Időállandó és redukált tömeg meghatározása

## 5. A jegyzőkönyv tartalma

### Minimum követelmény

A jegyzőkönyvnek tartalmazni kell a kiszámolt redukált tömeget és időállandót. Egy ábrát, melyben a mért és az illesztett  $\Delta T$  van ábrázolva idő függvényében.

### Extra pontért

- Más térfogatáramon a mérés megismétlése.
- A jelből látható, hogy nem egy, hanem inkább két tárolós rendszerrel van dolgunk. Mindkét időállandó meghatározása DMD segítségével.

## 6. Felkészülést segítő és ellenőrző kérdések

- Hogy határozható meg a tömegáram a térfogatáramból?
- Ismertesse a mérés menetét. Mit és milyen eszközökkel mérünk?
- Hogyan törli ki az első n elemét egy vektornak Matlab programozási környezetben?
- Hogyan határozná meg a  $e^{at}$  exponenciális függvényben a növekedési rátát?
- Írja fel a vízmelegítő energiamérlegét!

## Hasznos hivatkozások

[https://www.mathworks.com/help/matlab/data\\_analysis/linear-regression.html](https://www.mathworks.com/help/matlab/data_analysis/linear-regression.html)

[http://www.hds.bme.hu/letoltesek/targyak/BMEGEVGBG01/4\\_meres.pdf](http://www.hds.bme.hu/letoltesek/targyak/BMEGEVGBG01/4_meres.pdf)