

Általános utasítások

Kísérleti forduló (20 pont)

2026. július 6.

A következő szabályok be nem tartása kizáráshoz vezethet. A kísérleti forduló 5 órán át tart, és összesen 20 pontot ér. A mérés kezdetét és végét a szervezők jelzik, valamint minden órában jelzik az eltelt időt. Ugyancsak harminc, tizenöt és öt perccel a mérés vége előtt.

A mérés előtt

Ne nyisd ki a borítékokat vagy dobozokat az utasításig. Az asztalnál a következő eszközök állnak rendelkezésre: (1) toll, (2) tudományos számológép.

A mérés alatt

- Használd a szervezők által biztosított tollat.
- A végleges válaszokat az **A**-lapokra írd. Töltsd ki a megfelelő részeket válaszaival és szükséges megjegyzésekkel. Rajzold meg a szükséges grafikonokat.
- Számításokhoz **W** betűvel jelölt üres munkalapok állnak rendelkezésre. Használd a kijelölt lapokat. A hibás válaszokat és nem értékelendő vázlatokat húzd át X-szel. Csak a lapok előoldalát használd, és ne írd a margón kívülre. Az oldalak hátoldalát nem szkennelik be, és azok tartalmát nem veszik figyelembe.
- A válaszok legyenek tömörek és olvashatóak. Használj egyenleteket, logikai műveleteket, szimbólumokat és ábrasmákat az ötletek világos kifejezésére. Kerüld a magyarázó szövegeket, mivel az értékelők nem biztos, hogy érteni fogják.
- Határozd meg a mérés hibáját, hacsak másként nincs jelezve. Neked kell eldöntened, hány adatpont vagy mérési sorozat szükséges kivéve, ha a feladatkitűzők megadják a szükséges mérések számát.
- Ne hagyd el a helyed engedély nélkül. Ha mosdóba, vízért vagy más segítségért kell menned, emeld fel a "Help" táblát.

A mérés végén

- A mérés végét bejelentő jelzésre azonnal hagyd abba az írást.
- Helyezz minden lapot a mellékelt borítékba. Rendezd őket felfelé fordítva ebben a sorrendben: Általános utasítások, Kérdéslapok (Q), Válaszlapok (A), Munkalapok (W), szám szerint rendezve.
- A felügyelők megmondják, mikor távozhatsz. Ne vigyél magaddal semmit, a számológépet se!

Köszönjük együttműködést!

Speciális utasítások

A mérés során mindig a megadott mennyiségeket használd, hacsak másként nincs jelezve. Sorozatmérések végzésekor a diagramokon egyértelműen tüntesd fel a mért értékeket és a grafikonokon ábrázolt mennyiségeket. Ügyelj arra, hogy az eredményeket a megfelelő számú értékes jeggyel tüntesd fel. Minden diagram egyértelműen mutassa a mért értékeket. Mindig tüntesd fel az összes használt fizikai mennyiség mértékegységét.

Ideális gáz, gőznyomás és hővezetés [20 pont]

Ebben a kísérleti fordulóban három fizikai jelenséget fogsz tanulmányozni: az ideális gáz viselkedését, a víz gőznyomását és a hővezetéssel történő hőátadást. A mérés célja a nyomás (P), a levegőtérfogat (V), a hőmérséklet (T) és az idő (t) közötti összefüggések elemzése, az eredmények megfelelő grafikonokon történő ábrázolása, valamint a kapcsolódó fizikai állandók és azok hibáinak becslése.

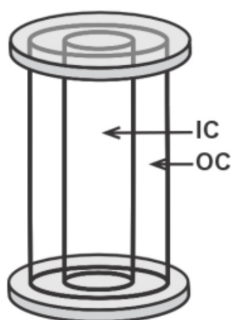


Fig.1a



Fig.1b

A kísérleti elrendezés áttekintése

A kísérlet megkezdése előtt olvasd el az összeszerelési leírást, az anyaglistát, az általános utasításokat és a forduló egyes részeire vonatkozó eljárást.

A berendezés két, akrilból készült koncentrikus hengerből áll (1a. ábra). A belső henger (a továbbiakban: **IC** - inner cylinder) levegőt és folyadékokat is tartalmazhat, az **IC**-ben lévő levegőt zárt levegőnek (a továbbiakban: **CA** - confined air) nevezzük. Az **IC**-ben lévő folyadék mennyisége a **D tömlő**höz csatlakoztatható fecskendővel szabályozható.

A külső henger (a továbbiakban: **OC** - outer cylinder) kizárólag vízzel tölthető meg, és hőköpenyként működik. A víz szintje a be- és kivezető tömlők és szelepek segítségével állítható be, hőmérsékletét pedig egy elektromos fűtőelem szabályozza. Az **IC** belsejében két érzékelő van felszerelve: egy a nyomás és egy a hőmérséklet mérésére. Az **OC**-ben egy külön hőmérséklet-érzékelő található.

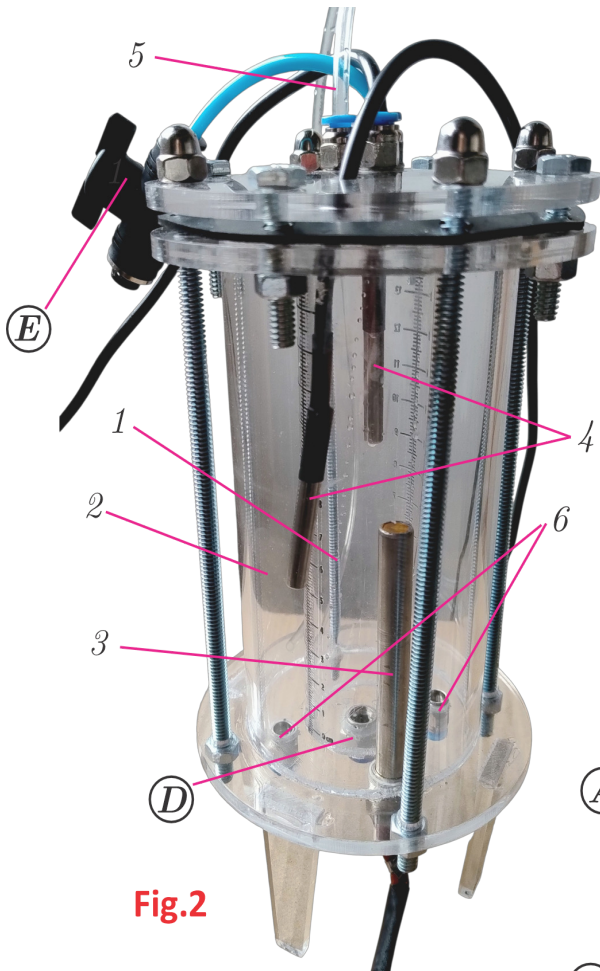


Fig.2



Fig.3



Fig.4



Fig.5

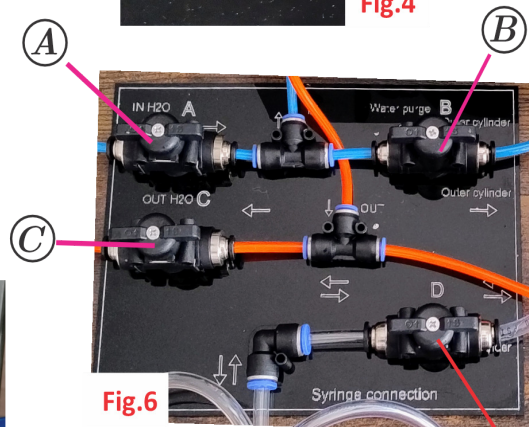


Fig.6

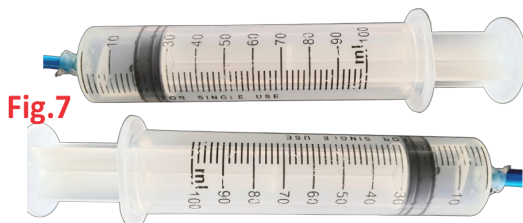


Fig.7



Fig.8

Kísérleti berendezések

Fő készülék (lásd a 2. ábrát)

1. **Belső henger (IC):** Két darab centiméter-skálával ellátva. A rögzített fedelei légmentesen zárnak.
2. **Külső henger (OC):** Hőszigetelő köpenyként funkcionál.
3. **Fűtőberendezés:** Az **OC**-be van telepítve, és az elektronikus modul táplálja.
4. **Hőmérséklet-érzékelők :** Két érzékelő, amelyek fekete vezetékekkel csatlakoznak az elektronikus modulhoz, mérik az egyes hengerek hőmérsékletét.
5. **Nyomásérzékelő tömlő:** A **CA**-t az elektronikus modulban található nyomásérzékelőhöz csatlakoztatja, lehetővé téve a belső nyomás mérését.
6. **OC vízcsatlakozások:** Két tömlő biztosítja a víz be- és kimenetét az **OC**-ból.

E szelep — IC légköri csatlakozás: Megnyitja vagy zárja az **IC** és a légkör közötti kapcsolatot.

Elektronikus modul (lásd a 3. ábrát)

Az elektronikus modult használat előtt csatlakoztasd a hálózati áramforráshoz. A **Power** feliratú bekapcsológomb a modul hátulján található (4. ábra).

A digitális kijelző a következő értékeket mutatja:

- **Belső nyomás:** Az **IC**-n belüli nyomás (**INT. PRESSURE**).
- **Légköri nyomás:** Helyi légköri nyomás (**ATM. PRESSURE**).
- **Belső hőmérséklet:** Az **IC**-n belüli hőmérséklet (**INT. TEMPERATURE**).
- **Külső hőmérséklet:** Az **OC**-n belüli hőmérséklet (**EXT. TEMPERATURE**).
- **Stopperóra:** Időmérő kijelzője (**TIMER**).

A képernyő alatt található négy számozott gomb vezérli a modul fő funkcióit:

- **1. gomb — Időzítő:** Elindítja vagy leállítja a stopperórát.
- **2. gomb – Visszaállítás:** Törli az időzítő értékét.
- **3. gomb – Grafikon megjelenítése:** A grafikus és a numerikus megjelenítés között vált. **Ezt a gombot a kísérletekben nem használjuk.**
- **4. gomb – Fűtés:** Be- és kikapcsolja a fűtőtestet. Amikor a fűtőtest aktív, a jobb alsó sarokban található animált jelzőfény piros és zöld színben váltakozik.

Megjegyzés: Soha ne kapcsold be a fűtőberendezést, ha az nincs teljesen vízben! Amikor az **OC** hőmérséklete eléri a **65 °C**-ot, a fűtőberendezés kikapcsol. Csak akkor lehet újra bekapcsolni, ha az animált jelzőfény már nem piros.

A modul jobb oldalán (5. ábra) találhatóak a csatlakozók az **IC** hőmérséklet-érzékelő (Internal Temp.), az **OC** hőmérséklet-érzékelő (**External Temp.**), a fűtőtest (**Water Heater**) számára, és az a tömlő, ami összeköti a **CA**-at a nyomásérzékelővel (**Internal Pressure**).

Hidraulikus modul (lásd a 6. ábrát)

A hidraulikus modul öt szelepet tartalmaz, amelyek az **A**, **B**, **C**, **D** és **E** jelöléssel vannak ellátva. Mindegyik szelep a készülék egy-egy meghatározott folyadékútját szabályozza:

- **A szelep — vízbevezetés az OC-ba:** Szabályozza a víz áramlását az **OC**-ba az **A tömlőn** keresztül (**IN H2O**).
- **B szelep — recirkulációs szelep:** Szabályozza a víz áramlását a recirkulációs ciklusban, amely az alábbi, szivattyúval kapcsolatos használati utasításban van leírva.
- **C szelep — víz kivezetése az OC-ból:** Szabályozza a víz kiáramlását az **OC**-ból a **C tömlőn** keresztül (**OUT H2O**).
- **D szelep — fecskendőcsatlakozás:** A **D tömlő**höz csatlakoztatott fecskendő segítségével szabályozza a folyadékok be- és kiáramlását az **IC**-ben (2. ábra). Ha a szelep szivárog, leválaszthatod a tömlőt a berendezésről, és a fecskendőt közvetlenül a tömlőhöz csatlakoztathod.

A szivattyú és a szelep működése

A szivattyúkapcsoló (**PUMP**) a modul elején található (8. ábra). Ez aktiválja az elektronikus modulban lévő szivattyút. A szivattyú bekapcsolása előtt állítsd be a szelepeket az elvégzendő műveletnek megfelelően. A szivattyú működtetése előtt rögzítsd a tömlőket a tartályok széléhez a csipeszek segítségével.

- **Az OC feltöltése vízzel:** Nyisd ki a **A szelepet**, és zárd el a **B** és **C szelepeket**. Helyezd az **A tömlőt** egy víztartályba. Amikor eléri a kívánt szintet, zárd el az **A szelepet**. Győződj meg róla, hogy a vízszint legalább 1 cm-rel a felső határ alatt marad. *Ha a víz nem áramlik hatékonyan az OC belsejébe, azonnal nyisd ki és zárd el a B szelepet a szivattyú légtelenítéséhez.*
- **Víz kiengedése az OC-ból:** Zárd el az **A szelepet**, és nyisd ki a **B** és **C szelepeket**. Helyezd a **C tömlőt** egy tartályba a víz összegyűjtéséhez.
- **Az OC hőmérsékletének homogenizálása:** Nyisd ki a **B szelepet**, és zárd el az **A** és **C szelepeket**. Ebben a konfigurációban a víz zárt körben kering az **OC** belsejében, segítve a hőmérséklet egyenletessé tételét.

A következő műveletekhez csatlakoztasd a fecskendőt a **D tömlő**höz. Ezekben az esetekben a szivattyút nem használjuk.

- **Folyadék bejuttatása az IC-be:** Nyisd ki a **D** és **E** szelepeket, majd használd a fecskendő a folyadék bejuttatásához.
- **Folyadék eltávolítása az IC-ből:** Nyisd ki a **D** és **E** szelepeket, majd használd a fecskendő a folyadék kiszívásához.

Fig.9



Fig.10



Fig.11

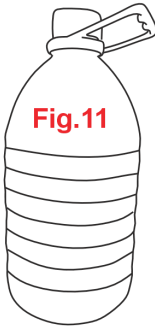


Fig.12



Fig.13

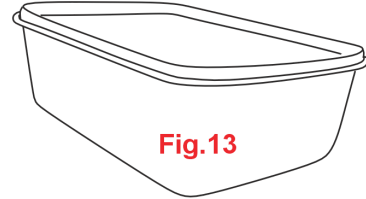


Fig.16



Fig.14

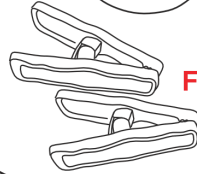


Fig.15

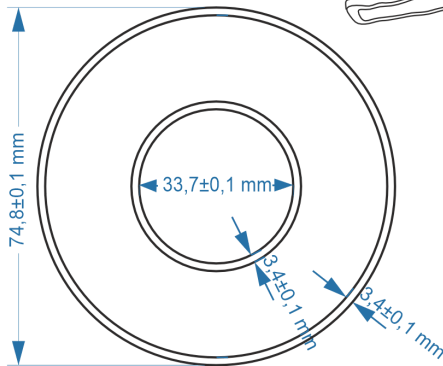
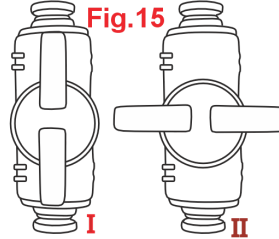


Fig.17

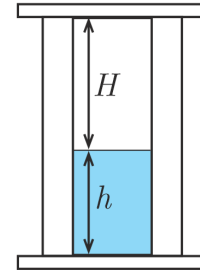


Fig.18

További kellékek: a kísérlethez az alábbi eszközöket biztosítjuk.

- **Két 100 ml-es fecskendő összekötő tömlővel** (7. ábra). Az egyik fecskendő a vízhez, a másikat a **PG**-hez használd!
- **Propilénglikol (PG):** Egy 100 ml **PG**-t tartalmazó edény. A **PG** gőznyomása a kísérletben használt hőmérsékleti tartományban elhanyagolható (9. ábra). **Figyelem: A PG vízben oldódik.** Ha a levegővel érintkezik, nedvességet is felvehet. Tanácsos az edényt zárva tartani, ha nem használod.
- **Hideg víz:** 500 ml hideg vizet tartalmazó hőszigetelt edény (10. ábra).
- **Szobahőmérsékletű víz:** Egy palack szobahőmérsékletű víz (11. ábra).
- **Öntőedény:** Víz öntésére szolgáló edény (12. ábra).
- **Felesleges víz gyűjtőedénye:** A felesleges víz összegyűjtésére szolgáló edény (13. ábra).

- **Csipeszek:** A kísérlet során a tömlők és más alkatrészek rögzítésére szolgáló csipeszek (14. ábra).
- **Papírtörlők** a tisztításhoz.

Fontos üzemeltetési megjegyzések

A készülék összerakása és üzemeltetése során vedd figyelembe a következőket:

- **A szelepek állásai:** Minden szelepnek csak két állása van: nyitott (**I**) és zárt (**II**) (15. ábra).
- **Tömlőcsatlakozás:** A tömlő eltávolításához nyomd kifelé a karikát, majd húzd ki a tömlőt. A tömlő behelyezéséhez nyomd azt teljesen a helyére (16. ábra). **A mérés kezdetekor a készülék teljesen össze van szerelve, és a készülék normális működése során általában nem szükséges a tömlőket újra csatlakoztatni.**
- **Henger méretei:** A 17. ábra a hengerek keresztmetszeti méreteit mutatja.
- **Jelölések:** A 18. ábrán láthatók az **IC** folyadéktartalmára használt jelölések: ***h*** a folyadék magassága, ***H*** pedig a folyadék feletti levegő magassága.
- **Térfogatkorrekciók:** Az összekötő tömlők belső térfogatát nagyjából kompenzálja az **IC**-n belüli hőmérséklet-érzékelő térfogata. Ezért ezeket a hatásokat elhanyagolhatjuk.

Állandók és referenciaértékek

A kísérlet során a következő állandók és referenciaértékek állnak rendelkezésre:

- **Avogadro-állandó:** $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- **A víz fajhője:** $c_0 = 4,184 \times 10^3 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$
- **A víz sűrűsége:** $\rho_0 = 1000 \text{ kg/m}^3$
- **A víz moláris tömege:** $M_0 = 18,02 \text{ g/mol}$
- **A levegő moláris tömege:** $M_a = 28,96 \text{ g/mol}$
- **Ideális gáz moláris térfogata normál körülmények között:** $V_m = 22,4 \text{ L/mol}$, $T_0 = 273,15 \text{ K}$ és $P_0 = 101,3 \text{ kPa}$ esetén

Part A [4,0 pont]. Egy ideális gáz izochor folyamata

Az **IC**-be zárt levegő (**CA**) az ideális gáz állapotegyenletét követi.

$$PV = nRT, \quad (1)$$

ahol R az univerzális gázállandó.

Eljárás

Juttass **PG**-t az **IC**-be $h = 4,5$ cm magassáig, és zárd el a **D** és az **E** szelepeket. Ez biztosítja azt, hogy a **CA** térfogata állandó maradjon.

A bucaramangai környezeti levegő sűrűsége a helyi hőmérséklettől és nyomástól függ. A következő kérdés megoldásához használd az időátlagolt értéket: $\rho = 1,12$ kg/m³.

A1. [0,4 pont] Határozd meg a **CA** m tömegét, n molszámát és a levegőmolekuláinak teljes N számát!

1. Töltsd fel az **OC**-t szobahőmérsékletű vízzel majdnem a tetejéig.
2. Kapcsold be a fűtést. Ne felejtsd el a szivattyú segítségével homogenizálni a hőmérsékletet!

A2. [1 pont] Jegyezd fel a táblázatba a **CA** P nyomását a T hőmérsékletének függvényében!

A3. [0,9 pont] Az A2. kérdésben kapott adatok alapján ábrázold a nyomást a hőmérséklet függvényében!

Az IPhO versenyfeltételei szerint az érzékelőket szándékosan úgy kalibrálhatják el, hogy az R várható értéke a referenciaértékhez képest megváltoztozzon.

A4. [1,0 pont] Az A3. pontban szereplő grafikon segítségével határozd meg R kísérleti értékét!

Az állandó térfogat melletti termikus nyomásegységütthatót a következő összefüggés határozza meg:

$$\beta_0 = \frac{1}{P_0} \left(\frac{\Delta P}{\Delta T} \right), \quad (2)$$

ahol P_0 a rendszer nyomása a T_0 referencia-hőmérsékleten, amely értékek az állandók és referenciaértékek részénél megtalálhatóak.

A5. [0,7 pont] Határozd meg a β_0 együttható értékét a levegő esetében!

Mielőtt a többi részt elkezded, távolítsd el a PG-t az IC-ből és tisztítsd meg. Ha a B résszel folytatod, ne engedd ki a forró vizet az OC-ből.

Part B [8,0 pont]. Gőznyomás

Egy folyadékot és annak gőzét tartalmazó zárt tartályban, egyensúly esetén, a gőznyomás a Clausius–Clapeyron-egyenlet szerint függ a T abszolút hőmérséklettől:

$$P_v = P_{v0} e^{-\frac{Q_v}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (3)$$

Itt T_0 a referencia-hőmérséklet, amit 0°C -nak veszünk. P_{v0} a gőznyomás T_0 hőmérsékleten. R az univerzális gázállandó, Q_v pedig a víz moláris párolgáshője.

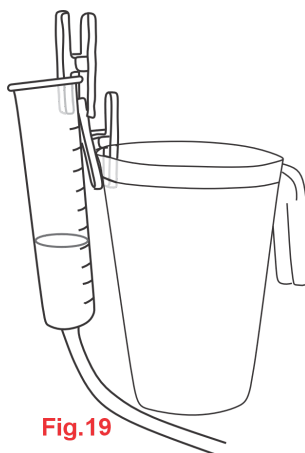


Fig.19

Eljárás

Ne feledd, hogy a PG és a víz elegyednek. Használj külön fecskendőt a vízhez és a PG-hez!

- Töltsd fel az **OC**-t vízzel majdnem a tetejéig!
- Tölts meg egy fecskendőt vízzel, csatlakoztasd az **IC**-hez, nyisd ki az **E** szelepet, vedd ki a fecskendő dugattyúját, és emeld fel a fecskendőt olyan magasra, hogy a vízszint $h = 5,0$ cm magasságban legyen az **IC**-ben. Zárd el az **E** szelepet, majd rögzítsd a fecskendőt a kancsóhoz a 19. ábrán látható módon. Ez az elrendezés az **IC**-n belüli nyomást megközelítőleg a légköri nyomással egyenlően tartja. Győződj meg arról, hogy nem maradtak légbuborékok a tömlőben!
- Melegítsd fel a vizet az **OC**-ben 65°C -ra. Használd a recirkulációs rendszert a víz hőmérsékletének homogenizálásához!
- Várj, amíg a hőmérséklet csökkenni kezd, és csak ez után kezd el feljegyezni a H -t T függvényében!

- A hőmérséklet további csökkentéséhez alkalmas pillanatban kicserélheted az **OC**-ben lévő vizet a mellékelt hideg vízzel.

B1. [1,0 pont] Jegyezd fel a táblázatba a H magasságot a T hőmérséklet függvényében!

B2. [1,0 pont] A B1 részben kapott adatok felhasználásával ábrázold H -t a T függvényében!

A gőznyomás szobahőmérsékleten viszonylag kicsi, és a $H(T)$ görbe közelíthető lineárisal.

B3. [0,5 pont] A B2. kérdésben szereplő grafikon segítségével extrapoláld a H értékét $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on!

B4. [1,0 pont] Feltételezve, hogy az **IC** száraz levegőt és vízgőzt is tartalmaz, vezess le egy algebrai kifejezést a P_v gőznyomásra a P_{atm} légnyomás, H_0 ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on mért magasság), H , T_0 és T mennyiségek segítségével! Itt feltételezheted, hogy a gőznyomás $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on nulla.

A következő kérdésekhez használd az $R = 8,31\text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ referenciaértéket.

B5. [4,0 pont] A (3) egyenlet és a B4. kérdésben szereplő kifejezés felhasználásával készíts egy alkalmas grafikont Q_v kísérleti értékének meghatározására!

B6. [0,5 pont] Q_v értékéből határozd meg L_v -t (a tömegegységre vonatkoztatott párolgáshőt), és a felhasznált képletet is add meg!

Part C [8,0 pont]. Hővezetés

Ebben a részben az **OC** víz és az **IC** víz közötti hőcserét tanulmányozzuk a köztük lévő falon keresztül. Az **IC** T_{IC} víz hőmérséklete, valamint az **OC** T_{OC} víz hőmérséklete időbeli változásának vizsgálatával az a célunk, hogy megbecsüljük a fal effektív hőellenállását, a rendszer egyensúlyi hőmérsékletét és az akril hővezetési tényezőjét.

A hővezetés egy szilárd falon keresztül az alábbi összefüggéssel írható le:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{1}{R_{Th}} (T_{OC} - T_{IC}) \quad (4)$$

ahol ΔQ a falon keresztül Δt időintervallum alatt átáramló hőmennyiség. Az R_{Th} effektív hőellenállás a két hőtartályt (**IC** és **OC**) elválasztó fal anyagától és geometriájától függ.

Eljárás

1. Állítsd be a vízszintet az **OC**-ban $h = 15$ cm-re.
2. Melegítsd fel az **OC** vizét 65°C -ra. Használd a szivattyút a vízhőmérséklet homogenizálására.
3. Állítsd be az **IC** vízszintjét $h = 10$ cm-re, és indítsd el a stopperórát.

C1. [1 pont] Mérd meg a T_{IC} belső hőmérsékletet és a T_{OC} külső hőmérsékletet a t idő függvényében!

C2. [1 pont] Ábrázold a T_{IC} -t és T_{OC} -t a t idő függvényében egy közös grafikonon!

A C3. és C4. kérdések esetén hagyd figyelmen kívül a készülék hőkapacitását. A T_{eq} az az egyensúlyi hőmérséklet, amelyet az IC és az OC elérne, ha nem lenne hőátadás a környezet felé.

C3. [0,7 pont] Ábrázold a $T_{OC} - T_{IC}$ hőmérséklet-különbséget mind a T_{OC} , mind pedig a T_{IC} függvényében ugyanazon a grafikonon! A T_{OC} és a T_{IC} közösen szerepeljenek a vízszintes tengelyen, míg a $T_{OC} - T_{IC}$ különbség a függőleges tengelyen.

C4. [1,1 pont] A C3.-ban készített grafikonok alapján határozd meg T_{eq} -t! Ehhez a kérdéshez nem szükséges a hibaszámítás.

Ha a változókat véges időközönként mérjük, a (4) egyenlet kifejezhető a következőképpen:

$$\frac{T_{IC,j} - T_{IC,(j-1)}}{t_j - t_{j-1}} \propto \bar{T}_{OC} - \bar{T}_{IC}, \quad (5)$$

ahol j a mérés számát jelöli, és $\bar{T}$ az egyes hengerek átlaghőmérsékletei a t_{j-1} és t_j közötti időintervallumban.

C5. [1,0 pont] Ábrázold az (5) egyenlet bal oldalán álló kifejezést az egyenlet jobb oldalán álló kifejezés függvényeként!

C6. [1,6 pont] Határozd meg az R_{Th} értékét az C5.-ben készített grafikon alapján!

Fourier törvénye a sugárirányú hővezetésre egy igen vékony hengerfalon keresztül a következőképpen írható fel:

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda A \frac{dT}{dr} \quad (6)$$

ahol A a fal területe, λ a fal anyagának hővezetési tényezője, és r a henger tengelyétől mért távolságot jelöli.

C7. [1,6 pont] A (4) és (6) egyenletek felhasználásával határozd meg az akril (az IC és OC közötti anyag) hővezetési tényezőjének λ értékét! Tüntesd fel a kiszámításhoz használt formulát.