

8.3. Kavarós filmbepárló vizsgálata

8.3.1. Elméleti összefoglalás

(Lásd még az “Elméleti bevezetés a hőtani mérésekhez” és a “Bepárlás vizsgálata” című fejezeteket)

A kavarós filmbepárlók szerkezetileg az esőfilmes bepárlókból alakultak ki. Ezek egyszeri átfolyású készülékek, amelyekben – a nagy folyadékterű bepárlóktól eltérően – a bepárlandó anyag rövid ideig tartózkodik, hőmérséklete, koncentrációja, viszkozitása (és így a folyadékoldali hőátadási tényező) folytonosan változik (és nem a végső, elvételi állapotnak megfelelő érték).

A folyadékoldalon igen jó (átlagos) hőátadási tényező, $10000 \text{ W/m}^2\text{K}$ körüli érték is elérhető, ezt azonban a hőátbocsátási tényezőben rendszerint nem lehet kihasználni, mert a kavarós filmbepárlóknak a belső felületét finoman kell megmunkálni (esztergálás, polírozás), ezért vastag a fűtőfal és viszonylag nagy az ellenállása.

A kavarós filmbepárlók fő alkalmazási területe:

- hőérzékeny anyagok bepárlása (kis tartózkodási idő!),
- nagy viszkozitású anyagok bepárlása (a folyadékfilmben megfelelő áramlást biztosítanak a lapátok).

Hőmérsékletviszonyok a filmbepárlóban:

- forrásponti betáplálás esetén a forralt folyadék hőmérséklete a bepárlóban mindenütt forrásponti (a forráspont koncentrációfüggése miatt a hőmérséklet axiális irányban változó lehet);
- forráspontnál kevéssel hidegebb táplálékot a fűtőgőz a fűtőfalon keresztül, de főleg a felszálló pára belülről gyorsan forráspontra melegíti, a folyadék hőmérséklete tehát gyakorlatilag itt is forrásponti;
- hideg betáplálás esetén a hőmérséklet-lefutás eltolódik az egyáramú hőcserélő exponenciális hőfoklefutása irányába (a bepárló egy része dolgozik csak bepárlóként!).

A filmbepárló túl drága készülék ahhoz, hogy fűtőfelülete egy részét előmelegítőként használjuk. Ezért előmelegítőt (pl. csököteges hőcserélőt) célszerű a készülék elé iktatni - kivéve, ha nagy vákuumban, alacsony forrásponton dolgozunk.

A lengőlapátos filmbepárlóban az oldatot közel kristályosodásig is lehet párolni, a lengő lapátok lekaparják a száraz réteget, de ekkor előfordulhat, hogy a felület egy része kiszárad, s ezért leromlik a hőátadás. Ettől az esettől eltekintve a lengőlapátok közel állandó, a betáplálás sebességétől független filmvastagságot biztosítanak (az anyag feleslege az ún. orrhullámban van, amit a lapátok maguk előtt tolnak).

Lengőlapátos filmbepárló

8.3.2. A berendezés leírása (8.3-1...3. ábrák)

A bepárlandó folyadék a T táptartályból a nehézségi erő hatására folyik le a bepárlóba. A táplálás mennyiségét (S_0) a megfelelő méréshatárú rotaméterrel mérjük, tűszeleppel szabályozzuk. Az E_1 és E_2 előmelegítők gőzzel fűthetők, E_1 fűtőfelülete változtatható. Az anyag hőmérséklete mérhető az előmelegítők előtt és után is. Az L látszakaszban ellenőrizni tudjuk, hogy a táplálás nem melegedett-e túl (gőzbuborék ne legyen benne, a bepárlóban forralunk csak). A besűrített oldat az Sz_M hűthető szedőben gyűlik össze. A pára a K kondenzátorban kondenzál, mennyisége az M mérőhengerben mérhető és az Sz_D szedőben gyűlik össze. A szedőkben összegyűjtött folyadékot – vákuummal – gumicsövön keresztül lehet visszaszívítani a táptartályba.

A berendezésnek az anyaggal érintkező részei KOR 5 saválló acélból készültek. Az anyagvezeték átmérője: 15/19 mm.

A filmbepárló belső fűtőfelülete: $0,15 \text{ m}^2$, falvastagsága: 5 mm, a fal hővezetési tényezője: $14,5 \text{ W/mK}$. A kavarási fordulatszáma: 7,6 ill. $9,1 \text{ s}^{-1}$, az ékszíj helyzetétől függően. A lapátok bélése teflon. A fűtőoldalon 4 kondenzátum-elterelő gyűrű van.

A K kondenzátor felülete: 1 m^2 , csököteges min a hűtővízre, mind a gőzre kétjáratú. A pára a (vízszintes terelőlappal két részre osztott) csövek közti térben kondenzál.

A berendezés atmoszféra nyomáson és vákuumban egyaránt üzemeltethető. A hallgatói mérés atmoszféra nyomáson történik.

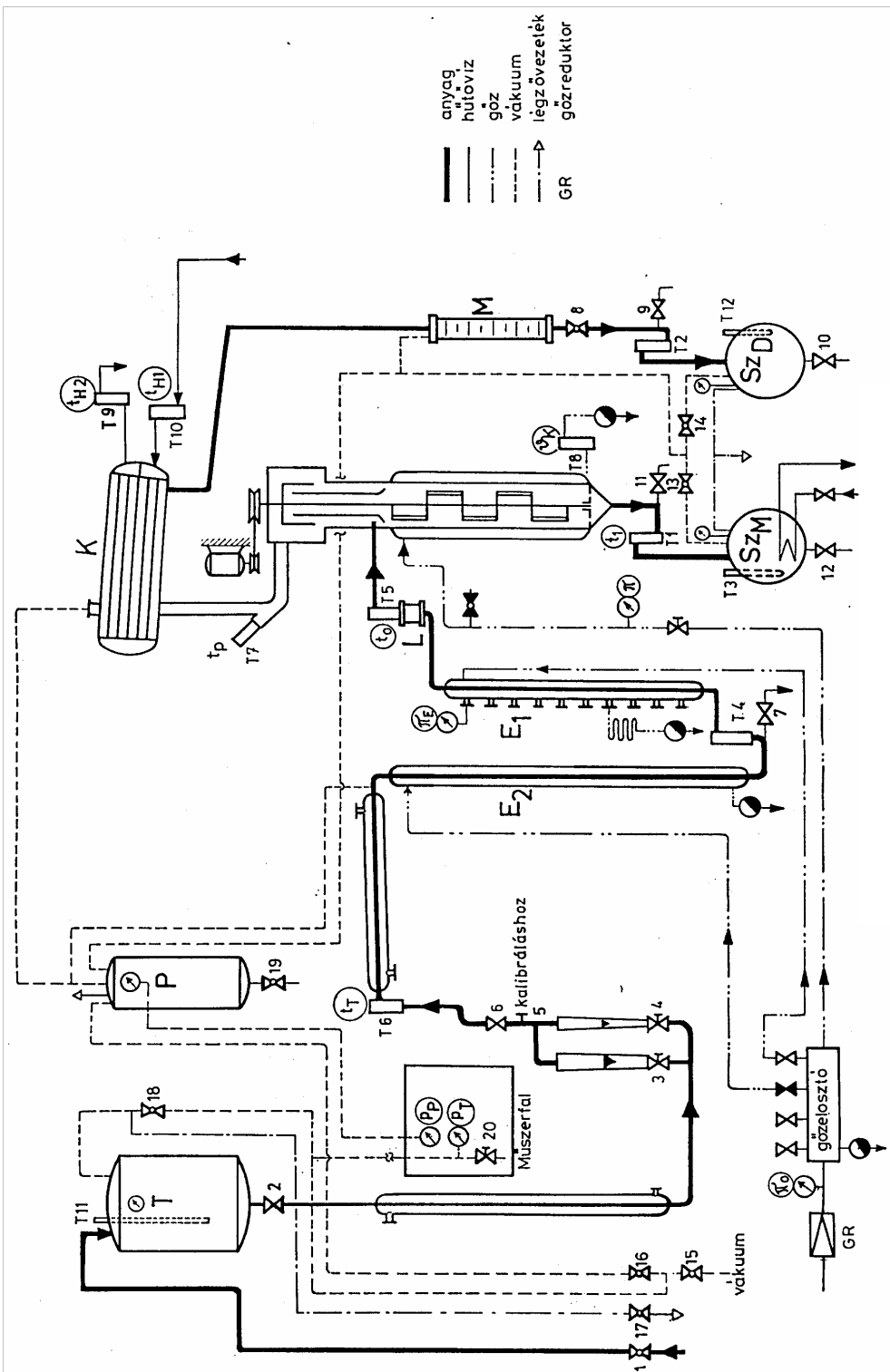
Mérési helyek

Szintmérés a T táptartályban és a Sz szedőkben buborékoló szintmérővel történik, kezelése és a szintek leolvasása a műszertáblán. A működési elvet az 3.6 ábra (1. az Általános rész 3.1. fejezetét) mutatja. Minthogy szintmérésre vákuumban is szükség van, a szintjelző egyszárú manométerek szárába a mérendő tartály légterének nyomása van bevezetve. A nyomólevegő a központi kompresszortól érkezik, nyomását stabilizált reduktorról úgy kell beállítani, hogy a mérendő legmagasabb szintet és az áramlási veszteséget is fedezze. A buborékolás sebességét a tűszelepekkel 3...5 buborék/s sebességre kell beállítani. Mivel a tartályokban és a manométerekben azonos folyadék van (víz), a manométerről leolvasott érték megegyezik a tartályban lévő folyadékmagassággal.

Hőmérsékletmérés: Pt ellenállás hőmérőkkel, leolvasás a műszerfalán mérőhely átkapcsoló segítségével. A kapcsoló 6 mérési lehetőséget biztosít, ezek a következők:

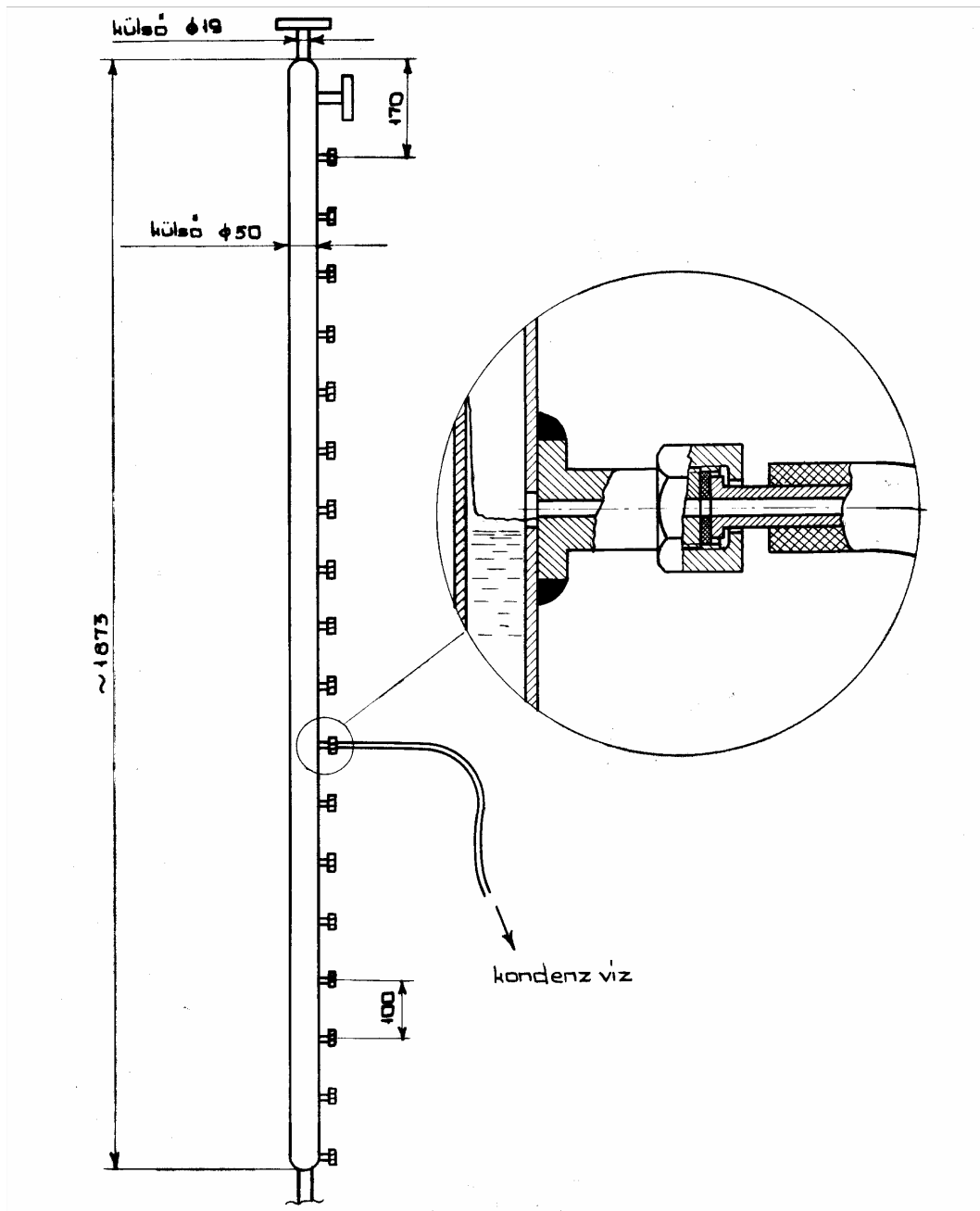
1. mérőhely: hűtővíz belépő hőmérséklete (ϑ_{H1})

2. mérőhely: hűtővíz kilépő hőmérséklete (ϑ_{H2})
3. mérőhely: fűtőgőz-kondenzátum hőmérséklete (ϑ_{gk})
4. mérőhely: betáplálás előmelegítők utáni hőmérséklete (ϑ_0)
5. mérőhely: bepárlóból kilépő folyadék hőmérséklete (ϑ_1)
6. mérőhely: betáplálás előmelegítők előtti hőmérséklete (ϑ_T)



8.3-2. ábra

Filmbepárló berendezés folyamatábrája



8.3-3. ábra
Az előmelegítő változtatható fűtőfelületű szakasza

Mennyiségmérés: a táplálék mennyiségét 8...22 dm³/h ill. 10...225 dm³/h mérésű rotaméterekkel mérjük. A rotaméterek 20 °C-os vízre vannak kalibrálva. A kisebbik rotaméter kalibrációs összefüggése: $\dot{V} [\text{dm}^3/\text{h}] = -2 + 0,1 \cdot \text{skr}$, a nagyobbik skálabeosztása közvetlenül dm³/h-t jelent.

A párlat kondenzátumának mennyiségét az M 1000 ml-es, 250 ml-enként kalibrált mérőhengerben mérjük. A mérőhenger alatti csapot elzárjuk és mérjük pl. 250 ml párlat lefolyásához szükséges időt stopperórával.

Nyomásmérés: csőrugós manométerrel mérjük a fűtőgőz nyomását a GR stabilizált nyomáscsökkentő szelep után (p_0), az E₁ előmelegítő köpenyterében (p_F) és a bepárló fűtővezetékében (p_g).

A bepárló alkalmas mind atmoszferikus, mind vákuum alatti működtetésre. A hallgatói gyakorlaton csak atmoszferikus nyomáson fogjuk a bepárlót üzemeltetni. Ekkor a rendszer két helyen van közvetlenül összekötve a külső nyomással: a T táptartály a 17 csapon, a rendszer többi része pedig a Sz szedők levegőzőjén át, közvetve pedig: a táplálóvezeték az E₂ előmelegítő legmagasabb pontján a P tartályon át, a bepárló a kondenzátoron és a P tartályon át, az M mérőhenger pedig a Sz szedők vákuumvezetékén keresztül szintén a P tartályon át. Ezért fontos, hogy a P légtartály az atmoszféra felé nyitva legyen (a manométer alatti háromállású csapon keresztül!).

8.3.3. Mérési feladat

A mérés célja a filmbepárló kapacitásának (azaz az átadott hőáramnak), ill. a hőátbocsátási és hőátadási tényezőknek megállapítása, a “Bepárlás vizsgálata” fejezet (8.2-3) ill. az “Elméleti bevezetés a hőtani mérésekhez” fejezet (8.1-4) és (8.1-11) egyenlete alapján. Ehhez mérjük L_0 -t (a tápláló rotaméterrel), V -t (az M mérőhengerben), ϑ_0 -t (a 4. mérőhelyen), nyomást a bepárlóban (barométer állását lásd a műszertáblán), és a fűtőgőznyomást (p_g). A bepárlót tiszta vízzel üzemeltetjük, így a $\vartheta_1 = \vartheta_{p_1}$ forrásponti hőmérsékletet a barométer nyomáshoz, a $\vartheta_g = \vartheta_{gk}$ fűtőgőz hőmérsékletet a p_g fűtőgőznyomás alapján vízgőz-táblázatból vesszük.

Útmutatás a készülék kezeléséhez

A mérésvezető adja meg: a fűtőgőz nyomását és a betáplálás sebességét. A mérés megkezdése előtt a folyamatábra alapján végigjárjuk a készüléket. Az 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 19 és 20 szelepek ill. csapok legyenek elzárva, a hűtővíz és a fűtőgőz szelepek úgyszintén, de legyen nyitva a 13, 14, 17 és 18 csap. A buborékolató szintmérő táplevegő-reduktorán állítsunk be 0,5 bar túlnyomást, nézzük meg a szintet a Sz szedőkben és a T táptartályban. Ha a szedőkben 1/3-nál magasabb ill. a táptartályban 200 mm-nél kisebb a szint, értesítsék a mérésvezetőt, aki gondoskodik a szedők kiürítéséről és a táptartály feltöltéséről. Ellenőrizzük, hogy a P tartály levegőzője (manométer alatti háromállású csap) nyitva legyen. Ezzel a berendezés indításra kész.

Indítás

1. Kinyitjuk a T táptartály alatti 2 szelepet, majd a 3 vagy a 4 szeleppel beállítjuk a rotamétert a kívánt jelre.

2. Megindítjuk a filmbepárló keverőtengely csapágyának hűtővizét (fent a motor-nál).
3. A műszerfalon bekapcsoljuk a főkapcsolót (ezzel a hőfokleolvasó már működik) és a keverőt.
4. Az E_1 előmelegítő fűtését beszüntítjük, hogy a v_0 a kívánt érték legyen. Az L látszakaszban ne legyenek gőzbuborékok!
5. Megindítjuk a K kondenzátor és a Sz_M szedő hűtését.
6. Megkezdjük a bepárló fűtését: a fűtőgőznyomást a megadott értékre állítjuk be a GR stabilizáló gőzredukor segítségével (szeleprugó előfeszítésével).

Stacionárius állapot: szüntelen ellenőrzést igényel az előmelegítő nyomása, a v_0 és a tápláló rotaméter állása. A műszereket legalább 5 percenként olvassuk le és rögzítsük az adattáblázatban. A stacionárius állapot beállt, ha a hőmérsékletek állandók, ill. ha az M mérőhengerben 3 egymás után mért párlatsebesség nem mutat egyirányú járást és az eltérés közöttük kisebb, mint 5 % (legalább 3 adatunk legyen a párlatmennyiség számításához).

Leállítás:

1. Zárjuk az előmelegítő és a bepárló fűtését, a kondenzátor és maradékszedő hűtését.
2. Kikapcsoljuk a főkapcsolót és elzárjuk a csapágyhűtést és a betáplálást (a táptartály alatti szelepet is zárjuk el!).

Adattáblázat

Barométerállítás (p_b): Hgmm;
 Fűtőgőznyomás (p_0): bar túlnyomás;
 Betáplálás: dm^3/h ; Rotaméterállítás: skr
 Tápfolyadék hőmérséklete (ϑ_T): $^{\circ}C$

Idő	Gőz, bar túlnyomás		Hőmérséklet, $^{\circ}C$					Párlat		
	p_E	p_g	v_0	v_1	v_{gk}	v_{H1}	v_{H2}	cm^3	s	\dot{V} , cm^3/s

Átlag:

A mérés kiértékelése:

1. A stacionárius állapotban mért adatok számtani átlagával számolunk.

- Mivel a bepárlót tiszta vízzel üzemeltetjük, a $\vartheta_1 = \vartheta_{p1}$ forrásponthőmérséklet a barométer nyomáshoz, a $\vartheta_g = \vartheta_{gk}$ fűtőgőzhőmérsékletet a fűtőgőznyomás-hoz ($p_b + p_g$) tartozó telített érték, mindkettőt vízgőztáblázatból vesszük.
- A bepárlóban átadott hőmennyiséget az “Bepárló vizsgálata” mérésnél megadott (8.2-3) egyenletből számítjuk. A számításhoz szükséges entalpia és fajhő adatokat a vonatkozó hőmérséklet alapján vízgőztáblázatból vesszük.
- Számítsuk ki a hőátbocsátási tényezőt az (8.1-4) egyenlet alapján a bepárló belső felületére. A bepárlóban az átlagos hőmérsékletkülönbség, ha a betáplálás közel forrásponthőmérsékleten történt és volt páráképződés, a fűtőgőz ill. a páratér nyomásához tartozó telítési hőmérsékletek különbsége.
- Számítsuk ki a Nusselt egyenletből a gőzoldali hőátadási tényezőt:

$$\alpha_G = 1,88 \lambda \left(Re_L \frac{\eta^2}{\rho^2 g} \right)^{-1/3} \quad (8.3-1)$$

ahol

$$Re_L = 4 \frac{G}{z\eta} \quad \text{lecsorgó kondenzfilm Reynolds száma, -}$$

$$G = 4 \frac{\dot{Q}}{5r_g} \quad \text{fűtőgőz-kondenzátum tömegárama (mert a köpenyben 4 kondenzvíz-elterelő gyűrű van), kg/s}$$

$$z = D\pi \quad \text{bepárlócső azon kerülete, ahol a kondenzvíz lecsorog, m}$$

$$\dot{Q} \quad \text{fűtőfelületen átadott hőáram, W}$$

$$r_g \quad \text{fűtőgőz párolgáshője, J/kg.}$$

Figyelem! a Nusselt egyenletben szereplő anyagi állandók (η , ρ , c_p , λ) mind a gőzkondenzátumra vonatkoznak (azaz vízre) a kondenzátum átlaghőmérsékletén. Ez utóbbi nem ismert, de jó közelítéssel a kondenzálás hőmérsékletével ($\vartheta_{gk} = \vartheta_g$) helyettesíthető. Az értékeket vízgőztáblázatból vesszük.

- Számítsuk ki a folyadékoldali hőátadási tényezőt az “Elméleti bevezetés a hőtani mérésekhez” fejezet (8.1-11) egyenletével.
- Az eredményeinket foglaljuk össze az eredménytáblázatba.

Eredménytáblázat

Gőz	Kapacitás	Hőellenállás							
		Teljes, $1/k$		Gőz, $1/\alpha_g$		Fal, s/λ		folyadék, $1/\alpha_f$	
Nyomás, p_g	Párlat, \dot{V}	$\frac{m^2K}{kW}$	%	$\frac{m^2K}{kW}$	%	$\frac{m^2K}{kW}$	%	$\frac{m^2K}{kW}$	%
bar	l/h		100						
			100						

Szorgalmi feladat

Változtassuk meg a fűtőgőz nyomását és vizsgáljuk meg ennek hatását a hőátadási paraméterekre (k , α_g , α_f).

Beadandó

1. Az adattábla a mérési adatokkal
2. A részletes számolás
3. Az eredménytáblázat.

Készítette: Havas Géza
Hajdú Hajnalka

Ellenőrizte: Fonyó Zsolt