

Bepárlás vizsgálata félüzemi méretű, duplikált fenekű, hőszivattyús vákuumbepárlóval

Hőtani feladat: látszólagos hőátbocsátási tényező meghatározása

1. Elméleti összefoglaló

Üst fűtésű bepárlókban az oldat hőmérséklete hely szerint változik a különböző irányból érkező hőáram miatt. Függőleges irányban a hidrosztatikus nyomás változik, ami a forrponi hőmérséklet változását okozza. Az oldat töményedésével annak forráspont emelkedését is figyelembe kell venni, ezért a hőmérséklet eloszlást a koncentráció hely szerinti eloszlása is befolyásolja. Mivel a gyakorlat során víz elpárologtatását végzik, koncentrációs forráspont emelkedés nem következhet be. Az üstben forró folyadék néhány cm vízoszlopot jelent, tehát a hidrosztatikai forráspont emelkedés is elhanyagolható.

Az üstfolyadék hőmérsékletét a páratér nyomásával határozhatjuk meg, az oldószer tenzió görbéje, vizes oldat bepárlásánál vízgőz táblázat segítségével. Esetünkben pár cm vastag tiszta vizet forralunk, ezért az érték megfelel a valós hőmérsékletnek. Forráspont emelkedés esetén a látszólagos jelzővel látjuk el a fogalmakat, látszólagos folyadékoldali forráspontot ($T_{\text{látsz}}$), látszólagos hőmérsékletkülönbséget és látszólagos hőátbocsátási tényezőt ($k_{\text{látsz}}$) definiálunk.

$$\dot{Q} = k_{\text{látsz}} \cdot A \cdot (T_{1,m} - T_{\text{látsz}}) \quad (1)$$

Ahol

\dot{Q}	a bepárló fűtőfelületén átadott hőáram [W]
$k_{\text{látsz}}$	látszólagos hőátbocsátási tényező [W/(m ² ·K)]
A	fűtőfelület [m ²]
$T_{1,m}$	esetünkben a hőszivattyú munkaközegének hőmérséklete [°C]
$T_{\text{látsz}} = T_p$	látszólagos hőmérséklet, amely a páratér hőmérsékletét jelenti [°C]

A hőátbocsátási tényező meghatározásához a falon átment hőáramot kell mérnünk. Egy bepárló vizsgálatokor a pára keletkezéséhez kell döntően hőt befektetni. A pára kondenzátum mérése nagyon pontos tömegmérésen alapszik. A fűtött felületen átment hőmennyiség azonban eltérhet a pára mennyiségéből számítható értéktől. Két tényezőt kell figyelembe venni:

a./ - hővesztesség. Ha a bepárlás a környezeti hőmérséklethez képest lényegesen magasabb hőmérsékleten történik jellemzően ez a helyzet nagynyomású gőzzel fűtött berendezéseknél a környezet felé való hőátadással (hődisszipációval) kell számolnunk. Jelen esetben a bepárlás vákuum alatt történik, közel szobahőmérsékleten, ezért a hővesztesség elhanyagolható. Ennek megfelelően a bepárló test nincs szigetelve.

b./ - önelpárolgás. Ha egy folyadékot olyan kisebb nyomású térbe táplálunk be, ahol a hőmérséklete magasabb, mint a tér nyomásához tartozó forráspont, önelpárolgás lásd, vedd össze sarjú gőz, flash desztilláció lép fel. Ekkor a bepárlóból távozó pára kondenzátum egy kis része önelpárolgás eredménye.

A két jelenség hatása: a hővesztesség folytán a szigetetlen falon lecsapódó pára, illetve az önelpárolgásból keletkező pára a teljes hőáramból számítottához viszonyítva pár százalékos nagyságrendű, és egymást kompenzálja abban az esetben, amikor $T_0 > T_1$ és $T_1 > T_{\text{környezet}}$.

A teljes anyagmérleg (2a) és hővesztesség elhanyagolásával felírt hőmérleg (3a) ismeretében felírható (4) egyenlet megadja, hogy a hőközléssel, illetve az önelpárolgással mekkora pára mennyiség keletkezik.

$$L_0 = W + L_1 \quad (2a)$$

$$\text{Ahol } W = W_{1,\text{önelp}} + W_{HK} \quad (2b)$$

$$L_0 \cdot i'_0 + \dot{Q} = W \cdot i''_{p1} + L_1 \cdot i'_1 \quad (3a)$$

$$\dot{Q} = W \cdot i''_{p1} + L_1 \cdot i'_1 - L_0 \cdot i'_0 \quad (3b)$$

$$\dot{Q} = L_0 \cdot (i'_1 - i'_0) + W \cdot (i''_{p1} - i'_1) \quad (3c)$$

$$W = \frac{\dot{Q}}{(i''_{p1} - i'_1)} + L_0 \cdot \frac{(i'_0 - i'_1)}{(i''_{p1} - i'_1)} \quad (4)$$

Ahol

L_0	a betáplálás anyagmennyisége [kg/s]
W	a pára kondenzátum mennyisége [kg/s]
L_1	a maradék mennyisége [kg/s]
W_{HK}	a hőközlés hatására elpárolgott pára mennyisége [kg/s]

$W_{1,\text{önelp}}$ az önelpárolgás során keletkező pára mennyisége [kg/s]
 i_0' az adott hőmérsékletű betáplálás fajlagos entalpiája [kJ/kg]
 i_{p1}'' a páratér nyomásának megfelelő pára fajlagos entalpiája [kJ/kg]
 i_1' a páratér nyomásának megfelelő folyadék fajlagos entalpiája [kJ/kg]

$\frac{\dot{Q}}{(i_{p1}'' - i_1')} = W_{HK}$ hőközléssel elpárologtatott pára mennyisége [kg/s]

$\frac{L_0 \cdot (i_0' - i_1')}{i_{p1}'' - i_1'} = W_{1,\text{önelp}}$ az önelpárolgással keletkező pára mennyisége [kg/s]

$\frac{(i_0' - i_1')}{i_{p1}'' - i_1'} = \beta$ önelpárologtatási tényező

A hőmérsékletek és entalpiák ismeretében az önelpárolgással keletkező pára mennyisége számítható ($W_{1,\text{önelp}}$).

Hőszivattyús bepárló tekintetében a hőveszteségtől eltekintve a bepárló fűtőfelületén átadott hőáram és az önelpárolgással befektetett hőáram összege megegyezik a párakondenzáció során elvont hővel.

$$\dot{Q}_{kond} = W \cdot (i_{p1}'' - i_1') \quad (5)$$

Ahol

\dot{Q}_{kond} kondenzátorban elvont hőáram [W]

$(i_{p1}'' - i_1')$ oldószer pára (víz) és kondenzátumának entalpia különbsége [J/kg].

Teljes kondenzációt megvalósítva a pára tömegárama megegyezik a pára kondenzátum tömegáramával, így elegendő a kondenzátum áramának mérése.

A fűtőfelületen átadott hőáram a kondenzátorban elvont hőáram és az önelpárolgás ismeretében a (6) egyenlet segítségével számítható.

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{kond} - L_0 \cdot \beta \cdot (i_{p1}'' - i_1') \quad (6)$$

A berendezés által felvett elektromos energia (P_0) a keverőmotor, a ventilátor, a kompresszor és a centrifugál szivattyú elektromos áram igényéből tevődik össze, hiszen a fűtőfelületen átadott hőáramot (\dot{Q}) a párakondenzációból nyert hőáram biztosítja.

A mérés tárgyát képező hőszivattyús elven működő bepárlót jellemzően szennyvíz olajos emulzió, mosó-, zsírtalanító- galvánfürdők elfolyó vizének tisztítására használják, és a keletkező párakondenzátumot visszavezetik a technológiába. Gazdasági szempontból alapvető kérdés, hogy a befektetett energiával mennyi hasznos anyagot állítunk elő. A különböző bepárlókat egységnyi visszanyert vízhez szükséges energiamennyiséggel hasonlítják össze. A hőszivattyús bepárló csak elektromos áramot igényel. A berendezés fogyasztói: kompresszor, vákuumot előállító centrifugál szivattyú, ventilátor és a keverőmotor.

Az 1 dm^3 párakondenzátum térfogatra vonatkozó fajlagos elektromos energia értéke a (7) egyenlet segítségével számolható:

$$\frac{\overline{P_0} \cdot t}{V_p} \quad (7)$$

Ahol t a mérési idő [h]

$\overline{P_0}$ a t mérési idő alatt a fogyasztásmérő által mutatott elektromos energiák átlaga [kW]

V_p a t mérési idő alatt gyűjtött párakondenzátum térfogata [dm^3]

2. A berendezés leírása

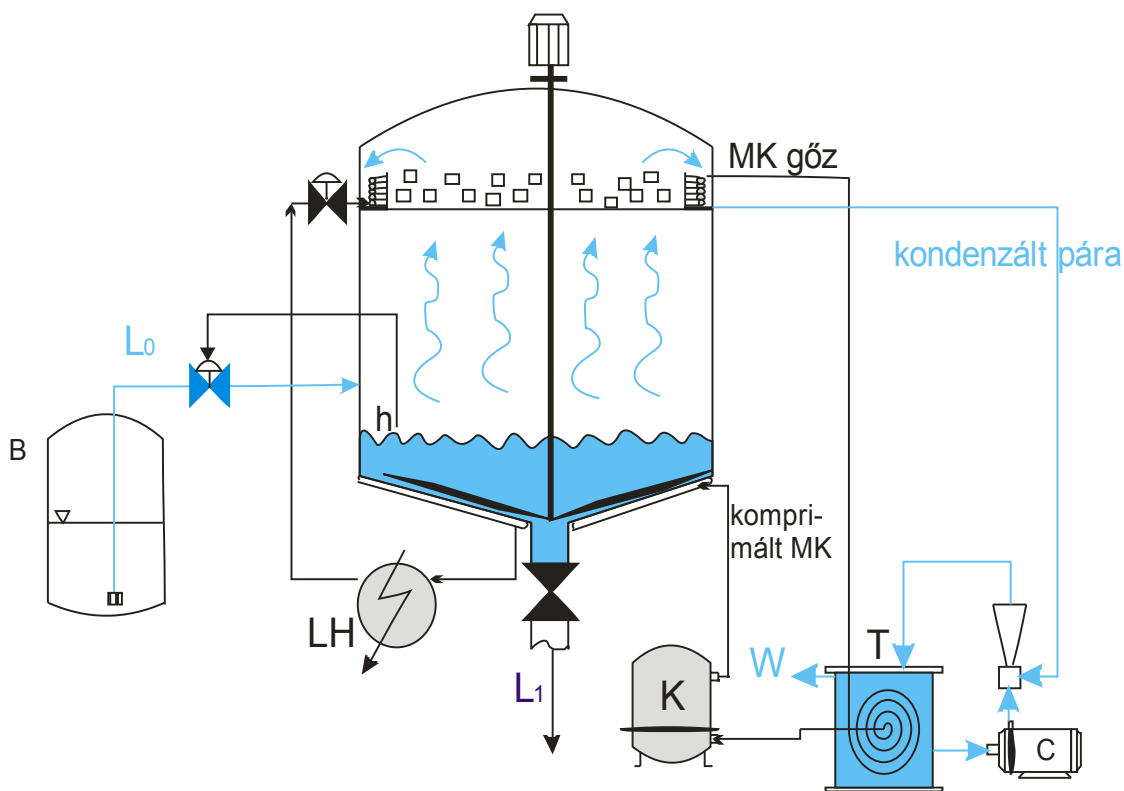
A kísérleti berendezés R 150 v03-as típusú munkaközeges hőszivattyús bepárló, amely 150 kg/nap párakondenzátum előállítására képes csapvizetes üzemeltetés esetén és R407C típusú freon gázt használ, mint munkaközeg. A bepárló duplikált fenekű keverővel ellátott és saválló kivitelben készült. Az üst kialakítását tekintve domborított edényfenék, amelynek hőátadó felülete $0,29 \text{ m}^2$.

Bepárló anyagforgalma:

A berendezés elindításakor létrejövő vákuum a „B” jelű betáplálási tartályból 16 liter L_0 bepárlandó folyadékot rövid idő (max. 1 perc) alatt beszív a bepárlóba. Az üstben a folyadék forni kezd az üstfűtés, és a vákuum hatására. A bepárlás közben keletkező pára Raschig gyűrűs cseppfogón halad át, majd egy csökígyó külső felületén lekondenzál. A pára kondenzátum a „T” jelű tartályba jut, melynek túlfolyóján keresztül távozik. A „T” tartály másrésztől utóelpárologtatóként működik, amely biztosítja, hogy a munkaközeg gáz fázisban lépjen a

kompresszorba. A tartály aljához centrifugál szivattyú csatlakozik, mely Venturi csövön keresztül keringeti a kondenzátumot. Az ejektor által keletkező vákuum elszívja a nem kondenzábilis gázokat is a bepárlóból.

A bepárlóban elhelyezett szintérzékelő vezérli a betáplálási vezeték membrán szelepét, így az üstben levő anyagmennyiség állandó. A stationer állapot beállításával a párakondenzátum áramának meg kell egyeznie a betáplálási árammal. Az L_1 maradék a mérés végén, a vákuum leállítása után távolítható el az üstből.



1. Ábra Az R150 v03-as típusú bepárló sematikus ábrája

A munkaközeg körforgalma:

A bepárló duplikált fenekű munkaközeges hőszivattyús bepárló. A munkaközeg R407C jelzésű freon gáz, amely a párakondenzátorban - a bepárló tetején található esőkígyóban - alacsony nyomáson, az ehhez tartozó alacsony hőmérsékleten elpárolog, majd az így felvett hőt magas nyomáson az ahhoz tartozó magas hőmérsékleten leadja, úgy, hogy lekondenzál a bepárló duplikált fenekében. A munkaközeg nyomását kompresszor emeli a megfelelő szintre. A

felszabaduló kondenzációs hő forralja a vizet a bepárlóban. A munkaközeg kondenzációját „LH” jelű léghűtővel tesszük teljessé, majd egy expanziós szelepen keresztül a folyadék a bepárló tetején található csökígyó belsejébe kerül vissza. Így záródik a munkaközeg körfolyamata. Az R407C típusú gáz nyomás-entalpia diagramja a készülék mellett megtalálható.

A kísérlet megkezdéséhez végezze el az alábbiakat:

1. Ellenőrizze, hogy a pára kondenzátum gyűjtőtartály szintje maximális.
2. Töltse fel a betáplálási tartályt min. 40 liter vízzel, és mérje meg a hőmérsékletét.
3. Ellenőrizze, hogy a bepárló szívócsonkjának szűrője tiszta.
4. Amennyiben az üst látszakasza nyitott állapotban van, törölje le az ablaktömítést, és zárja le a bepárlót.
5. Zárja a maradék leeresztő gömbszelepet.
6. Helyezze a habzástgátló adagoló csontot víz alá. (Ezáltal a fals levegő beszívást lehet elkerülni.)
7. Helyezzen gyűjtőedényt a pára kondenzátum cső alá, hogy az indulás során kilőtt vizet összegyűjtsük.
8. Nyugtázza az esetleges hibaüzeneteket.

3. A mérés célja

Bepárlás vizsgálata félüzemi méretű, duplikált fenekű, hőszivattyús vákuumbepárlóval, látszólagos hőátbocsátási tényező számítása, egységnyi párakondenzátumra eső felhasznált elektromos teljesítmény számítása.

4. Mérés menete

A bepárló 220 V-os feszültségű elektromos árammal üzemeltethető. A kísérlet során felvett elektromos energiát elektromos fogyasztásmérő méri, amelyről leolvasható az aktuálisan felhasznált érték W-ban, továbbá a mérési idő. A fogyasztásmérő összesen felhasznált időt mutat, ezért a kísérlet megkezdésekor (A START/STOP gomb megnyomásakor) fel kell jegyezni a kijelzett időt. A mérőműszer az összesen felhasznált elektromos energiát is mutatja kWh-ban, ezért a mérés megkezdése előtt annak értékét is fel kell jegyezni.

Az ON/OFF kar ON állásba történő elfordításakor a bepárló áram alá kerül, és beindul a keverőmotor. A kísérlet a START/STOP gomb bal állásba történő kapcsolásával kezdődik. Innen

kezdve mérjük a kísérlet idejét. Induláskor a pára kondenzátum tartályon („T”) keresztül 1,6-2 dm³ közötti vízmennyiség távozik, amelyet le kell mérni, hiszen az anyagmérleget befolyásolja. A végvákuum eléréséhez kb. 30 perc szükséges. Stacioner állapot elérésekor a páraáram és betáplálási áram adott időtartományban mért átlagértéke megegyezik, hiszen a szintszabályozó gondoskodik a bepárló szintjének állandó értékéről. A kísérlet során adott időpillanathoz tartozóan leolvassuk a kijelzőről a bepárlóban lévő vákuumot, a kompresszor nyomóágán mért munkaközeg gáz nyomását, az R407C típusú munkaközeg hőmérsékletét, leolvassuk az elektromos fogyasztásmérőről az aktuális teljesítményértéket, továbbá mérjük stacioner állapotban a pára térfogatáramát.

5. A mérés leállítása

A kísérlet a START/STOP gomb jobb állásba történő kapcsolásával végződik. A berendezésben a vákuum megszűnésével az üstből a maradék a látszakasz alatt található csapon keresztül eltávolítható. További feladatok:

- A maradék leengedése után a stopper leállítása és az ON/OFF kar OFF állásba történő elfordításával a bepárló áramtalanítása.
- Ezzel egy időben az elektromos fogyasztásmérő össz idejének és felhasznált teljesítményének feljegyzése (kWh).
- A párakondenzátum és a maradék mennyiség- és hőmérséklet mérés után kiöntése.
- A betáplálási tartályt min. 40 literig vízzel feltöltése.

6. Mérési táblázat

Aktuális légköri nyomás:Hgmm

Elektromos fogyasztásmérő állása:(idő)

mérés végén:.....

.....kWh

mérés végén:.....

A betáplálási tartály szintje:dm³

mérés végén:.....

A betáplálás hőmérséklete:°C

Az indításkor kilövelt párakondenzátum mennyisége:.....cm³

A maradék mennyisége:.....dm³

A párakondenzátum hőmérséklete:..... °C

A maradék hőmérséklete:..... °C

		1	2	3	4	5	átlag
	Mérés kezdetétől eltelt idő						
Bepárló	Vákuum [-Hgmm]						
Fűtőgáz	Nyomóági kompresszor nyomás [MPa]						
	Nyomóági kompresszor hőmérséklet, T _{1,m} [°C]						
Pára	Pára mennyisége V _p [dm ³]						
	Adott mennyiségű pára gyűjtési ideje						
Betáplálás	Betáp tartály szintje [dm ³]						
	Adott mennyiségű betáp fogyási ideje						
Elektromos fogyasztás	Fogyasztásmérő aktuális állása [W]						

7. Eredménytáblázat:

Anyagmérleg hiba		
$\frac{L_0 - (W + L_1)}{L_0} \cdot 100$		%
\dot{Q}_{kond}		W
β		-
$\frac{L_0 \cdot \beta \cdot (i_{p1}'' - i_1')}{\dot{Q}_{kond}}$		%
\dot{Q}		W
k_{latsz}		W/(m ² ·K)
$\frac{\overline{P_0} \cdot t}{V_p}$		kWh/dm ³ pára-kondenzátum

Beadandó

Mérési táblázat

Részletes számolás adatokkal

Eredménytáblázat

Megjegyzés, értékelés

Készítette:

A Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék képviselőjében

Dr. Cséfalvay Edit

Dr. Mizsey Péter

A Holimex Mérnöki és Kereskedelmi Kft képviselőjében:

Dr. Korda Béla

Ellenőrizte:

Dr. Deák András

Köszönetnyilvánítás

A Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék köszönetet mond a Holimex Mérnöki és Kereskedelmi Kft-nek a műegyetemi oktatási infrastruktúra fejlesztésében nyújtott segítségért, hogy az R 150 v03-as típusú hőszivattyús bepárlót oktatási célra a rendelkezésünkre bocsátotta.

2013. augusztus