

DUPLIKATÚRÁS KEVERŐS REAKTOR RECIRKULÁCIÓS HŰTŐKÖRÉNEK OPTIMALIZÁLÁSA

RECIRCULATED COOLING SYSTEM OPTIMIZATION OF THE MIXED REACTOR

Venczel Gábor¹, Dr. Siménfalvi Zoltán², Dr. Szepesi Gábor³

Abstract. In many fields of chemical industry using a double-shell reactors. Usually the bottom of the double-shell is the inlet of the cooling liquid and after the heat transfer the warmed cooling liquid leaves the shell at the top. In some cases the outlet liquid is mixed (recirculated) with the inlet liquid. In this paper we shows how to reach an economical optimal solution of this mixing rate considering that economy is necessary but cost minimalization is not the main goal.

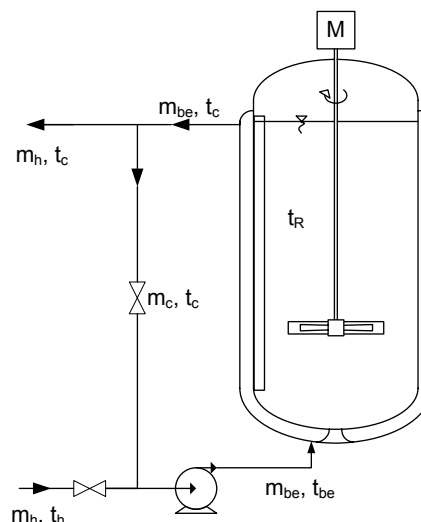
1. BEVEZETÉS

A vegyipar számos területén alkalmaznak tartályok, üstök, reaktorok hűtésre kettősköpenyű, úgynevezett duplikatúrás megoldásokat. Általában a duplikatúra alsó részén bevezetett hűtő közeg a felületi hőcserélést követően felmelegszik és kilép a duplikatúra felső csonkján. Bizonyos esetekben célszerű a kilépő hűtővíz áram egy részét visszavezetni a köpenybe (recirkuláltatni). Jelen kutatás célja valamilyen terméket előállító reaktor recirkulációs hűtőkörének vizsgálata és optimalizálása, figyelembe véve, hogy a gazdaságosság egy szükséges követelmény, de nem cél a költségek minimalizálása vagy a maximális hozam elérése.

2. A VIZSGÁLT RENDSZER

A vizsgált berendezés egy keverővel, hűthető köpennyel ellátott üst, melyben lejátszódó láncreakció során keletkezik a kívánt termék. A gyártási folyamat szakaszos üzemű (sarfsz technológiájú). A reakció exoterm folyamat, melynek irá-

nyítása a felszabaduló hő szabályozásán múlik. A keletkező termék minőségét (többek között) a reakció hőmérsékletét határozza meg. A hőmérséklet sarzsoként eltérő lehet, de egy sarzsion belül állandó hőmérsékeltet kell tartani. A reakció során képződött hő az autokláv köpenyében cirkuláltatott hűtővízzel kerül elvonásra.



1. ábra. A vizsgált rendszer

A vizsgáltok során a rendszerbe belépő friss víz illetve a cirkuláltatott mennyiség arányát kívánjuk meghatározni az adott körülményekhez igazodó gazdasági optimumnak megfelelően.

3. A MODELL FELÉPÍTÉSE ÉS PARAMÉTEREI

Az előzőekben megfogalmazott kérdésekre a választ célszerűen matematikai modellezéssel, számítógépes módszerek alkalmazásával nyert szi-

¹tanársegéd, Miskolci Egyetem, Vegyipari Gépek Tanszéke
²egy. docens, Miskolci Egyetem, Vegyipari Gépek Tanszéke
³egy. docens, Miskolci Egyetem, Vegyipari Gépek Tanszéke

mulációs elemzések ismeretében lehet megfogalmazni. A készülékből elvont hő:

$$Q = cm_h(t_c - t_h) = cm_{be}(t_c - t_{be}) \quad (1)$$

Ahol:

- m_h a friss hűtővíz tömegárama,
- m_c a recirkulált hűtővíz tömegárama,
- m_{be} a duplikatúrába belépő hűtővíz tömegárama,
- t_c a duplikatúrából kilépő hűtővíz hőmérséklete,
- t_{be} a duplikatúrába belépő hűtővíz hőmérséklete.

A vizsgált készülékre felírható a felületi hőcserélők alapegyenlete:

$$Q = kA_h \Delta t_{ln} \quad (2)$$

Ahol:

- k hőátviteli tényező,
- A_h köpeny közepes hőátadó felülete,
- Δt_{ln} logaritmusos hőmérsékletkülönbség.

A hőátviteli tényező értékét a hőátmenetben szerepet játszó három részfolyamat határozza meg:

- az üstfolyadék és a köpenyfal közötti hőátadás,
- a köpenyfal hővezetése,
- a köpenyfal és a hűtővíz közötti hőátadás.

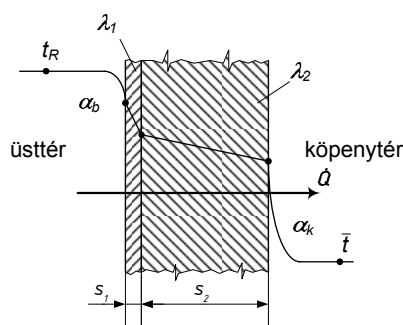
A többrétegű falra (pl. plattírozott lemez) vonatkozó egyenletből a készülék hőátviteli tényezője meghatározható:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_b} + \frac{1}{\alpha_k} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2}} \quad (3)$$

Ahol:

- α_b, α_k Belső és külső hőátadási tényezők,
- λ_1, λ_2 hővezetési tényezők,
- s_1, s_2 falvastagság.

A (3) összefüggésben szereplő, a köpenyfalra vonatkozó értékek állandóak, az üsttéri és a köpenyoldali hőátadási tényezők az üzemeltetési körülményektől függően változóak lehetnek.

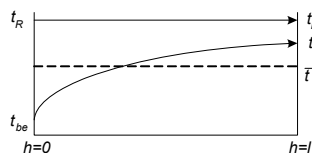


2. ábra. Hőmérsékletváltozás a köpenyben

A 2. ábrán a jellemző hőmérsékletváltozás látható a köpenyben és környezetében. Az időegység alatt elvont hő mennyisége függ a hűtővíz mennyiségétől, amely az áramlási sebesség változása miatt a külső hőátadási tényezőre (α_k) ezáltal a hőátviteli tényező értéke változik. Az (3) összefüggést megvizsgálva ez azt jelenti, hogy a hőátviteli tényező változását a külső hőátadási tényező változása eredményezi. A hőátadási tényezők meghatározására a szakirodalom egyértelmű összefüggéseket közöl. A belső hőátadási tényező a folyamat során állandónak tekinthető, a köpenytéri hőátadási tényező a Reynold-számtól függ. A Reynolds-szám a hűtővíz térfogatáramának a függvényében számolható. Feltételezve, hogy a köpenytérben turbulens áramlás alakul ki, a hőátadási tényező meghatározására a turbulens áramlásra vonatkozó (4) kritériális összefüggést közöljük.

$$Nu = A \cdot Re^B Pr^C \left(\frac{\eta}{\eta_{fal}} \right)^D \quad (4)$$

Az összefüggésben szereplő Re a Reynolds-szám, a Pr a Prandtl-szám, A, B, C, D állandók. Az üstfolyadék keverése miatt a hőmérséklet eloszlás helytől függetlennek tekinthető a hőleadó oldalon. A hőfelvevő oldalon a hűtővíz hőmérséklete változik a hely függvényében a 3. ábrán látható szerint.



3. ábra. Hűtővíz hőmérséklet eloszlása a köpeny mentén

Az üstfolyadék és a köpenyfolyadék hőmérséklet különbségét az alábbi logaritmusos össze-

függéssel határozhatjuk meg:

$$\Delta t_{ln} = \frac{(t_R - t_{be}) - (t_R - t_c)}{\ln \frac{t_R - t_{be}}{t_R - t_c}} \quad (5)$$

ahol a t_R az üsttér hőmérséklete. A fenti (1)-(5) egyenletek ismeretében felírható a megoldandó egyenletrendszer: A megoldandó egyenletrendszer:

$$0 = cm_{be}t_{be} - c(m_{be} - m_h)t_c - cm_h t_h \quad (6)$$

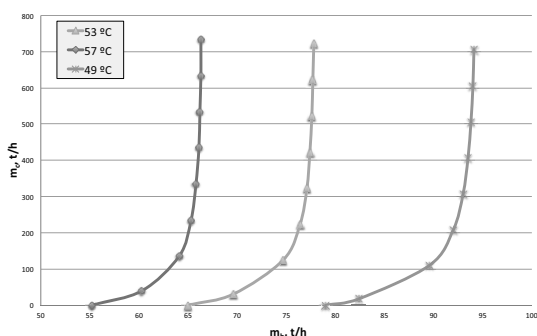
$$0 = \frac{Q_{el}}{kA_h} - dt_{ln} \quad (7)$$

$$0 = Q_{el} - cm_{be}(t_c - t_{be}) \quad (8)$$

A modellben egy-egy szimuláció során állandónak tekintett változók: t_h, Q_{el}, A_h, t_R, c . Az egyenletrendszer megoldásával az m_c függvényében az m_h, t_c, t_{be} értékeket határozhatjuk meg.

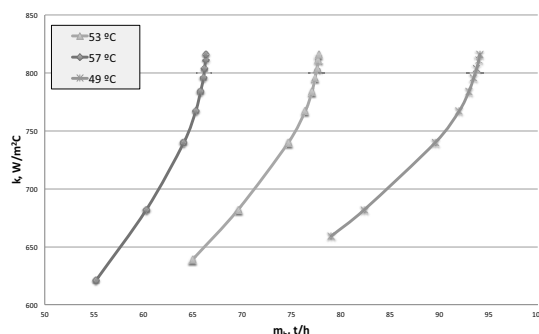
4. EREDMÉNYEK

Az alábbiakban bemutatjuk a szimulációk során kapott számítási eredményeket, valamint rámutatunk a közöttük fennálló kapcsolatokra. A 4. ábrán látható a friss hűtővíz szükséglet különböző üstfolyadék hőmérsékletek esetén a recirkulált hűtővíz-mennyiség függvényében.

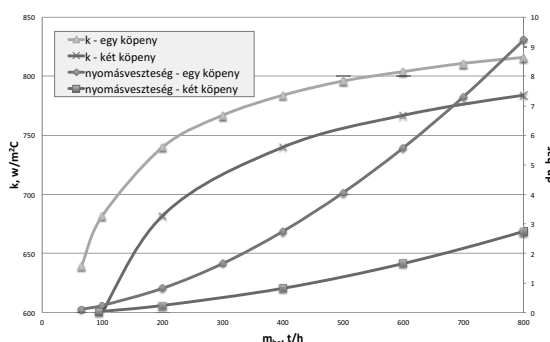


4. ábra. Hűtővízszükséglet a recirkuláltatott mennyiség függvényében

Az ábrából jól látható, hogy adott üstfolyadék hőmérséklet esetén egy bizonyos recirkuláció felett jelentős mértékben nem változik a friss hűtővíz szükséglet. Az 5. ábra a hőátviteli tényező változását mutatja a szükséges friss hűtővíz mennyiségének függvényében különböző reakcióhőmérsékletek esetén. Amint az ábrán is látható, a hőcsere hatásosságát kifejező hőátviteli tényező (k) értékét korlátozza a mértékadó hőmérsékletkülönbség, amelyből következik, hogy mindhárom reaktorhőmérséklet esetében meghatározható egy maximális frissvíz mennyiség.

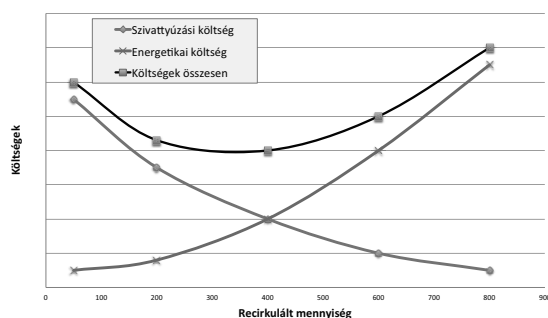


5. ábra. Hőátviteli tényező változása



6. ábra. Hőátviteli tényező és nyomásvesztés

Az 6. ábrán a vízszintes tengelyen ábrázoltuk a köpenyben áramló víz mennyiségét ($m_{be} = m_c + m_h$), a függőleges tengelyeken pedig a hőátviteli tényezőt (k) valamint a köpenytéri áramlás nyomásvesztését (dp). A recirkuláció növelésével a köpenytéri nyomásvesztés jelentős mértékben megnő, emiatt célszerű a köpenyt két részre osztani és a hűtővíz mennyiségét két köpenyrész között elosztani. Ezen felosztás hatásos van a hőátviteli tényező értékre.



7. ábra. Gazdasági optimum

A 7. ábrán a recirkuláltatott mennyiség függvényében az üzemeltetési költségek láthatóak, melyek a rendelkezésünkre álló ipari adatok (működési adatok) alapján megfelelő súlyozással kerültek meghatározásra. A figyelembe vett szivattyúzási és hűtési költségek összegének függ-

vényéből meghatározható egy gazdasági (költség) minimum.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A számításaink eredménye bizonyítja, hogy az üstből elvont hő értéke független a recirkuláció mennyiségétől. A köpeny kialakítására vonatkozó javaslatunk, hogy a köpenybe terelő lemezeket célszerű helyezni, ekkor a hűtőközeg mintegy az üst külső falára rögzített csőkégyőben közlekedik ezáltal csökkentve a pangó holt terület, valamint turbulens áramlás jön létre, mely kedvezően hat a hőátadási tényezőre. Az adott készülékben töltetenként különböző hőmérsékleten lezajló reakció mehet végbe, azonban a köpenybe belépő víz mennyisége állandó, a hűtőrendszerből érkező hűtővíz hőmérséklete szintén állandó. A különböző gyártási ciklusoknál biztosítani szükséges a kisebb reakció hőmérséklet esetén elvonandó hőmennyiséget is, ez esetben kisebb a mértékadó hőmérsékletkülönbség. Ezért a köpenytéri hőelvonást a legkisebb mértékadó hőmérsékletkülönbség értékre kell méretezni. Biztonságtechnikai és szabályozási szempontok miatt szükség van egy minimális recirkulációra. Az áramlási veszteségek és a hőátviteli tényező növekedési ütemének csökke-

nése következtében található olyan recirkulált érték, aminél többet nem célszerű a köpenybe vezetni. A gazdasági optimum az adott berendezésre az adott körülmények között megfelelő célfüggvénnyel meghatározásra került. Minden esetben szükséges ellenőrizni, hogy ezen üzemeltetési költségminimum esetén az adott művelet művelettani szempontból végrehajtható-e.

Köszönetnyilvánítás: A bemutatott kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Fejes G. - Fábry Gy.: *Vegyipari Gépek és Műveletek II.*, 1978.
- [2] Fábry Gy. - Fonyó P.: *Vegyipari Művelettani Alapismertek*, 2003.
- [3] J. Lienhard.: *A Heat Transfer Textbook*, 2004.
- [4] W. Rohsenow, J. Hartnett.: *Handbook of Heat Transfer*, 1973.
- [5] Bihari P.: *Műszaki Termodinamika*, 2001.