

Anyagátadási tényező meghatározása oldódásnál

A leiratban a felkészülést és a mélyebb megértést elősegítő *elgondolkodtató és ellenőrző kérdések zöld színűek.*

I. Elméleti összefoglaló

Mérnöki számításoknál gyakran szükséges a hőátadási tényező, vagy az anyagátadási tényező ismerete. Ha a szakirodalomban nem találunk a berendezésünkre érvényes korrelációt a keregett átadási tényező számítására, a komponens-, hő- és impulzustranszportok közötti analógia felhasználásával közelítőleg becsülhető a hiányzó átadási tényező értéke.

Tudna olyan esetet mondani, amikor a szükséges átadási tényező kísérleti meghatározása nehézségekbe ütközik, ezért hiánypótló lehet az analógia alapján végzett becslés?

A komponens-, hő- és impulzustranszportok közötti analógia

A fluidumokban végbemenő transzportjelenségek – (súrlódásos áramlás, hőátadás, diffúzió) – matematikailag azonos alakú differenciálegyenletekkel írhatók le. A közismert *Newton-* ill. *Fourier* I. egyenletek igen egyszerűen a *Fick* I. egyenlethez hasonló alakra hozhatók:

$$\tau = \frac{dI}{Adt} = -\eta \frac{dv_z}{dy} = -\nu \frac{d(\rho v_z)}{dy} \quad (1)$$

$$\frac{dQ}{Adt} = -\lambda \frac{dT}{dy} = -a \frac{d(\rho c_p T)}{dy}, \text{ ahol } a = \frac{\lambda}{\rho c_p} \quad (2)$$

$$\frac{dn_i}{Adt} = -D_i \frac{dc_i}{dy} \quad (3)$$

ahol A felület, m^2 ; c_p fajhő állandó nyomáson, $J/(kgK)$; c_i koncentráció i -edik komponensre, $kmol/m^3$; I impulzus, kgm/s ; n a komponens mennyisége, mol ; Q hőmennyiség, J ; t idő, s ; T hőmérséklet, K ; ν lineáris sebesség, m/s ; η dinamikai viszkozitás, $kg/(m \cdot s)$; λ hővezetési tényező, $W/(mK)$; ρ sűrűség, kg/m^3 ; τ nyíró-, vagy csúsztatófeszültség, $kg/(m \cdot s^2)$.

Az egyenletek jobb oldalán szereplő ν kinematikus viszkozitás, az a hőmérsékletvezetési tényező és D diffúziós együttható dimenziója megegyezik (m^2/s).

A vezetési komponens-, hő- és impulzustranszportok között analógia van. Az ún. turbulens vezetési együtthatók bevezetésével a transzportálódó mennyiségek turbulens transzportjára is fennáll ez a kapcsolat ([1] 46. – 48. old.). Az említett három extenzív mennyiség turbulens transzportjának analógiája lehetővé teszi, hogy az egyik konvektív transzport ismeretében a másik kettőre számszerű, tehát kvantitatív adatokat becsülhessünk.

A konvektív hőátadás stacionárius mérlegegyenletéből a modellelmélet alkalmazásával két dimenziómentes számot kaptunk, a hőátadás és hővezetés viszonyát kifejező Nusselt-számot (Nu) és a konvektív és vezetési hőáramok viszonyát kifejező Peclet-számot (Pe), az impulzusegyenletekből pedig a hidrodinamikai hasonlóságnál megismert Reynolds-szám (Re) adódott. A mérnöki gyakorlatban a Pe -szám helyett a Pe/Re hányadost használják, ez a Prandtl-szám (Pr), amely csupán az impulzus- és hő vezetési transzportjára vonatkozó anyagi tulajdonságokat tartalmaz, tehát az anyag dimenzió nélküli jellemzője (hatásfok jellegű szám).

Konvektív anyagátadásnál az átadásos és vezetési komponensáramok viszonyát Sherwood-számnak (Sh) nevezik, a konvektív és vezetési komponensáramok viszonya pedig a Peclet-vessző-szám (Pe'). Kényszerkonvekcióval végbemenő anyagátadásnál szintén szerepel a Re -szám is. A hőátadáshoz hasonlóan a mérnöki gyakorlatban a Pe' -szám helyett a Pe'/Re hányadost használják, ez a Schmidt-szám (Sc). A Sc -számnak a Pr -számhoz hasonlóan az a jellegzetessége, hogy csak az anyag fizikai tulajdonságaitól függ (a kinematikus viszkozitás és a diffúziós együttható aránya, szintén hatásfok jellegű szám).

A folyamat lényegéből következik, hogy adott anyagnál az adott feltételeknél az a és D együtthatók rendszerint legalább nagyságrendileg megegyeznek. A megegyezés az a és D között jobb, mint egyezésük a kinematikus viszkozitással. A fontosabb dimenziómentes számokat foglaltuk össze az alábbi táblázatban:

Extenzív mennyiség	konvekció vezetés	átadás vezetés	átadás konvekció
Komponens	$Pe' = \frac{\nu L}{D_i}$	$Sh = \frac{\beta L}{D}$	$St' = \frac{Sh}{Pe'} = \frac{\beta}{\nu}$
Hő	$Pe = \frac{\nu L}{a}$	$Nu = \frac{\alpha L}{\lambda}$	$St = \frac{Nu}{Pe} = \frac{\alpha}{\rho c_p \nu}$
Impulzus	$Re = \frac{\nu L}{\nu}$	–	$\frac{f}{2} = \frac{\gamma}{\rho \nu}$

ahol α hőátadási tényező, W/m^2K ; β anyagátadási tényező, m/s ; γ az impulzusátadási tényező, kg/m^2s

Hatásfok jellegű dimenziómentes számok:

$$\text{Prandtl-szám: } Pr = \frac{Pe}{Re} = \frac{\nu}{a} = \frac{\eta c_p}{\lambda}$$

$$\text{Schmidt-szám: } Sc = \frac{Pe'}{Re} = \frac{\nu}{D} = \frac{\eta}{\rho D}$$

$$\text{Lewis-szám: } Le = \frac{Sc}{Pr} = \frac{a}{D} = \frac{\lambda}{\rho c_p D}$$

Ezek a komplexek kevéssé függenek a hőmérséklettől és pl. gázok esetén az anyagi minőségtől is közel függetlenek.

Keveréssel vagy más módon létrehozott turbulens áramlásnál a feltételezett "film"-en keresztül történik a hő és anyagtranszport, így a két folyamat között fennálló analógia alapján is megpróbálhatjuk a film δ vastagságának meghatározását. Hangsúlyozzuk, hogy a két hipotetikus film (a hőtani és az anyagátadási) vastagsága elvileg sem azonos.

Az anyagátadási tényező becslésére Chilton és Colburn ún. j -faktor analógiáját használjuk ([1] 48. old.).

$$j_H = j_D = f/2 \quad (4)$$

Keverős tartályban lapkeverő alkalmazásánál – fázisváltozás nélküli hőátadásnál – a Nu -szám értéke a következő egyenlettel számítható [2]:

$$Nu = 0,37 Re_{\text{kev}}^{2/3} Pr^{1/3} \quad (5)$$

Az (5) egyenletből megkapjuk a j_H -faktor empirikus kifejezését, amely a Chilton-Colburn analógia értelmében megegyezik j_D -faktor értékével.

$$j_H = \frac{Nu}{Re_{kev}(Pr^{1/3})} = 0,37 Re_{kev}^{-1/3} \quad (6a)$$

$$j_D = \frac{Sh}{Re_{kev}(Sc^{1/3})} = j_H = 0,37 Re_{kev}^{-1/3} \quad (6b)$$

A (6b) egyenletből a Sh -számot kifejezve:

$$Sh = 0,37 Re_{kev}^{2/3} Sc^{1/3} \quad (7)$$

A filmmodell érvényességét feltételezve a Sherwood-szám a jellemző geometriai méret és a filmvastagság hányadosaként értelmezhető:

$$Sh = \frac{\beta d_{edény}}{D} = \frac{d_{edény}}{\delta_{film}} \quad (8)$$

Az anyagátadási tényező meghatározása oldódásnál

Egy fázishatárfelületről valamely fluidum belsejébe irányuló anyagátadás vizsgálatánál Nernst [3] feltételezéséből indulhatunk ki. Eszerint a fázishatárfelületen az egyensúly rendkívül gyorsan beáll, mivel ellenkező esetben közvetlenül érintkező pontok között a kémiai potenciál véges különbsége lépne fel, amely az anyagátadási folyamat végtelenül nagy sebességre vezetne. Nernst szerint a fenti alaptételt Noyes és Whitney [4] fejtette ki először szilárd testek oldódásával kapcsolatban. Későbbiekben Brunner [5] a Fick I. differenciálegyenlet alkalmazásával kvantitatív összefüggést vezetett le az oldódás sebességére.

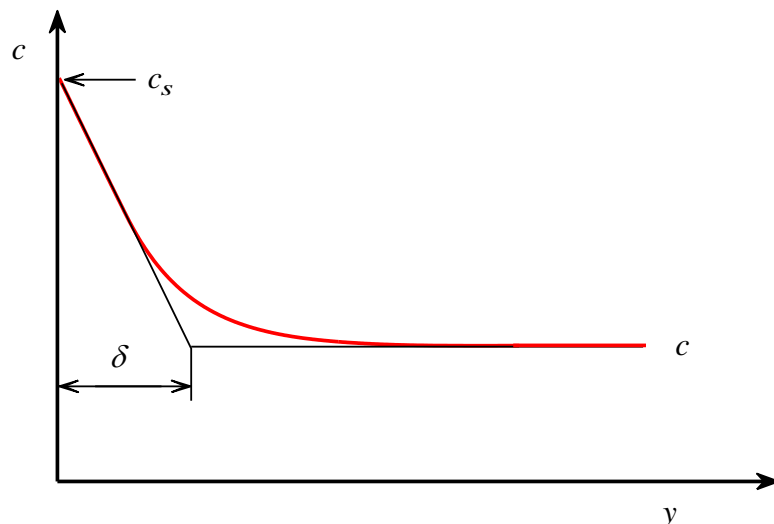
Egy irányban (y irányban) *Fick empirikus összefüggése* azt mondja ki, hogy a diffúzióval átvitt komponensáram arányos az áramlásra merőleges A (m^2) fázishatár-felülettel, és a koncentrációgradienssel, az arányossági tényező pedig a diffúziós együttható.

$$\frac{dn}{dt} = -DA \frac{dc}{dy} \quad (9)$$

ahol c az oldódó komponens koncentrációja ($kmol/m^3$),
 n az oldódó komponens mennyisége ($kmol$),
 D az oldott anyag diffúziós állandója (m^2/s),
 y a szilárd anyag felületétől mért távolság (m).

Az (9) egyenletben a negatív előjel arra utal, hogy az oldódó komponens diffúziója a koncentrációcsökkenés irányában megy végbe. A D diffúziós együttható azt mutatja, hogy egységnyi anyagátadási felületen időegység alatt $1 kmol/m^4$ koncentrációgradiens hatására a felületre merőleges irányban mennyi oldódó komponens áramlik át diffúzióval.

A molekuláris diffúzió a legtöbb esetben lassú, ezért a fluidumok sebességét olyan mértékig növeljük, hogy *turbulens anyagátadás* alakuljon ki. Az ún. turbulens anyagátadásnál a viszkózus határréteg, melyben lamináris áramlás valósul meg, nem tölti ki a teljes teret, mellette megtalálható a turbulens áramlású réteg, s e kettő között az átmeneti zóna. A viszkózus határrétegben a transzport molekuláris vezetéssel történik. A turbulens magban viszont a molekuláris transzport hatása elhanyagolható a turbulens transzport mellett. Az átmeneti rétegben a molekuláris és a turbulens transzport egyaránt érvényesül. A turbulens anyagátadás tipikus koncentráció-lefutását mutatja az 1. ábra.



1. ábra. Koncentrácioprofil oldódó szilárd test határfelülete mellett

A legegyszerűbb átadási elmélet a *filmmodell*: a fázishatár mentén egy lamináris áramlású réteget tételez fel, melyben a transzport molekuláris vezetéssel valósul meg [6]. A film δ vastagságát úgy határozza meg, hogy a filmen kívül a hajtóerő zérus legyen. Feltételezi tehát, hogy a film az összes ellenállást magában foglalja. A (9) egyenletben szereplő koncentrációgradiens ekkor az 1. ábrának megfelelően a következő differenciahányadossal fejezhető ki:

$$-\frac{dc}{dy} = \frac{c_s - c}{\delta} \quad (10)$$

ahol c_s az oldat koncentrációja a szilárd anyag felületén, ami azonosan egyenlő a telített oldat koncentrációjával az adott hőmérsékleten,
 c az oldat kevert tömegének pillanatnyi koncentrációja.

Miért lineáris a filmmodell szerinti koncentrációcsökkenés a filmben? Milyen további feltételek teljesülése esetén kapjuk a (9) és (10) egyenletekből a (11) egyenletet?

Az A (m^2) határfelületen dt (s) idő alatt átadott anyag a V (m^3) térfogatú oldatban lévő komponens mennyiségét (n , kmol) növeli, azaz növekszik a c térfogat-koncentráció¹ (a térfogat állandó). Ezeket figyelembe véve a (9) egyenlet a következő formában írható:

$$\frac{dn}{dt} = V \frac{dc}{dt} = \frac{D}{\delta} A(c_s - c) = \beta A(c_s - c) \quad (11)$$

A (3) egyenletben szereplő D/δ hányadost *anyagátadási tényezőnek* (β) nevezik, értéke mérési adatok alapján meghatározható². A (3) egyenletet szeparálva és integrálva (c_0 az oldat kezdeti koncentrációja):

¹ A film térfogata az oldat főtömegének térfogata mellett elhanyagolható, azaz c átlagos koncentrációnak tekinthető

² A filmmodell szerint a komponensátadási tényező a diffúziós állandóval egyenesen arányos. A tapasztalat szerint azonban ez nem igaz, tehát a filmelmélet nem korrekt, nem használható a diffúziós együttható meghatározására. A mérnöki gyakorlatban azonban még bonyolultabb esetekben is jól használható egyszerűsége miatt (pl. kémiai reakció hatása a komponensátadásra).

$$\int_{c_0}^c \frac{dc}{c_s - c} = \beta \frac{A}{V} \int_0^t dt \quad (12)$$

$$\ln \frac{c_s - c_0}{c_s - c} = \beta \frac{A}{V} t \quad (13)$$

A mért $c - t$ adatpárokat a (13) egyenlet szerint feldolgozva, az illesztett egyenes meredekségéből számítható a β anyagátadási tényező.

Milyen lineáris összefüggést célszerű illeszteni az adatokra az anyagátadási tényező meghatározásához? A tengelymetszet zérus, vagy nem? Miért?

II. A készülék leírása

Az anyagátadási tényező meghatározásához változtatható fordulatszámú keverőberendezéssel ellátott síkfenekű edényt használunk. A folyadéktölcsér keletkezésének megakadályozására az edény falához áramlástörőt erősítünk. Az átlagos átmérő értéke megtalálható az edény oldalán. Az edény fenekére benzoosav réteget olvasztottunk be, amely lehűtés után megdermedve az edény alapterülete által meghatározott felületű réteget alkot. Az edény falán esetlegesen megtalálható benzoosavat el kell távolítani.

Miért használunk áramlástörőt? Milyen hibát okoz az edény falán esetlegesen megtalálható benzoosav? És ha porszerű benzoosav kristályok maradnak az edényben? Milyen hibát okoz, ha a benzoosav lepényen repedések találhatók?

A készülék nincs termosztálva, de megjegyezzük, hogy csak akkor mérhetünk kielégítő pontossággal, ha a mérés során a folyadék hőmérséklet ingadozása nem lépi túl a 3-4 °C-ot. Célszerű ezért a mérés során a folyadék hőmérsékletét megmérni.

A keverőberendezés motorral együtt függőleges irányban elmozdítható az edény ürítésének megkönnyítése céljából.

Az anyagi jellemzők közül melyeknek a hőfokfüggése meghatározó ennél a mérésnél? Milyen pontosan kell ismernünk ezeket az anyagi tulajdonságokat?

III. Mérési feladat

A mérést olyan fordulatszámon kell végezni, hogy a keverő fordulatszáma elegendően nagy legyen a keveréshez, de ha folyadéktölcsér keletkezne, még ne érje el a keverőt. A levegőben forgatva a keverőt, kisebb az ellenállás, mint folyadékban, ezért azonos szabályozó állás esetén levegőn nagyobb a fordulatszám mint a folyadékban. A mérőállomásnál elhelyezett tájékoztatón megtalálja az ajánlott fordulatszám-tartományt.

1. A keverő átmérőjét célszerű még az edény beállítása előtt, a keverő szabad állásában megmérni. A keverőberendezés függőleges elmozdítása után a benzoosavas edény behelyezhető, majd a keverőberendezést függőlegesen mozgatva beállítjuk a keverőlapát alsó szélének távolságát a benzoosav rétegtől (a tartály aljától). Az ajánlott távolság 4 – 5 cm, de nem lehet nagyobb, mint a keverő átmérője. Mérjük meg, és jegyezzük fel a jegyzőkönyvben. Ellenőrizzük, hogy a keverő a kívánt állásban van-e (centrikus elhelyezés).

A keverő szívóhatása következtében a benzoosav lepény felemelkedhet, és a forgó keverővel ütközve összetörhet. Ennek megakadályozására fém korongokat helyezünk a benzoosav ömledék felszínére egyenletesen elosztva. Írjuk fel a korongok számát és

mérjük meg az átmérőjét, mert az A felület értékének számításánál az edény átmérőjével számított területből le kell vonni a korongok által letakart részt.

Ezután pontosan 7000 ml szobahőmérsékletű desztillált vízzel feltöltjük az edényt és azonnal elindítjuk a keverőt és a stoppert. Ezzel egyidőben egy gyors mozdulattal beállítjuk a keverő kívánt fordulatszámát a szabályozó gombbal. A keverőmotor tápegységének melegeése miatt a mérés alatt a fordulatszám kismértékben változhat, amit a szabályozógomb forgatásával menet közben kell korrigálni.

2. Az edényből pipettával 10 percnként 5 cm^3 mintát veszünk és fenoftalein indikátor hozzáadása mellett $0,01 \text{ n}$ NaOH oldattal titráljuk. Az első mintavétel előtt célszerű 5 cm^3 mintát venni a desztillált vízből, és a mintákkal azonos módon megtitrálni (ún. vakpróba). Ha mérhető mennyiségű mérőoldat fogyást tapasztalunk, az értékkel korrigálni kell a mintákra kapott mérőoldat fogyásokat. Minden mintavétellel egyidőben megmérjük a kevert folyadék hőmérsékletét is. Az utolsó mintavétel a 90. percben történjen.

Milyen hibákat követhetünk el a mintavételnél és a titrálásnál? A desztillált víz esetleges savasságától eltekintve még miért előnyös a vakpróba?

3. A mért adatokat a IV. pontban bemutatott táblázatokban rögzítjük. Minden adatot közvetlenül a jegyzőkönyvbe kell írni!
4. A mérés befejezése után a keverőt ki kell kapcsolni. A keverőt felemelve a benzooesavról a vizet haladéktalanul leöntjük, és a keverőt nedves, majd száraz ruhával letöröljük, a berendezést áramtalanítjuk.

IV. A mérés kiértékelése

Mérési eredményeinket a (13) képlet alapján dolgozzuk fel.

A koncentrációkülönbségek hányadosa megegyezik a mérőoldat-térfogatkülönbségek hányadosával, így a (13) képlet a következő formában írható fel ($c_0 = 0$, koncentrációk helyett a mérőoldat fogyásokat, \ln helyett pedig a 10 alapú \lg -t használhatjuk):

$$\lg \frac{x_s}{x_s - x} = \frac{1}{2,303} \beta \frac{A}{V} t \quad (14)$$

Az $x_s / (x_s - x)$ hányadosok logaritmusát az idő függvényében ábrázolva a pontok egy egyenesen fekszenek. (A diagram elkészíthető a kereskedelemben kapható mm papíron, de Excelben dolgozva is normál léptékű tengelyekkel kell elkészíteni a diagramot, a vízszintes tengelyen az időt, a függőleges tengelyen a logaritmus értékeket ábrázolva³). Az illetett egyenes iránytangenséből határozzuk meg a β anyagátadási együttható értékét.

Hibát követ el, ha akkor is origóba futó egyenest illeszt az adatokra, amikor az adatok elhelyezkedése ennek ellentmond? Indokolja meg a választ! Az anyagátadási tényező meghatározásához a (14) összefüggéstől eltérő lineáris formában is felírhatná a (11) egyenlet megoldását?

A filmmodellből az anyagátadási tényezőre a $\beta = D / \delta$ kifejezés adódik, ami tapasztalat szerint a diffúziós állandóra nézve nem teljesül. Ennek ellenére, egyszerűsége miatt használjuk ezt az összefüggést a δ filmvastagság kiszámításására. A benzooesav diffúziós állandója szobahőmérsékleten $D = 5,2 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{min}$.

³ Ha az Excelben az ábra készítésekor a függőleges tengelyen az $x_s / (x_s - x)$ értékeket ábrázoljuk és a tengely skáláját választjuk logaritmikusként, az Excel a lineáris függvényt $x_s / (x_s - x)$ -re illeszti, nem annak logaritmusára!

1) Mérési adatok és azokból meghatározott értékek:

Kevező fordulatszáma (n):		min ⁻¹
Kevezőlapát átmérője (d):		cm
Tartály belső átmérője ($d_{edény}$):		cm
Kevezőlapát távolsága a benzooesav szintjétől:		cm
Betöltött folyadék mennyisége (V , mért):		cm ³
A benzooesavleplenyre helyezett korongok száma (k):		–
A korongok átmérője (d_{korong}):		cm
0,01 n NaOH mérőoldat faktora (megadott érték):		–
A kevert folyadék átlagos hőmérséklete (ϑ , számított):		°C
Az átlagos hőfokhoz tartozó telített oldat koncentrációja c_s (számított):		tömeg %
A telített oldat koncentrációjához tartozó ekvivalens mérőoldat fogyás x_s : (számított):		cm ³
A kevert folyadék sűrűsége az átlagos hőmérsékleten:		kg/m ³
A kevert folyadék viszkozitása az átlagos hőmérsékleten:		mPas

A mért hőmérséklet átlagához (ϑ) tartozó telítési koncentráció 10...40 °C hőmérséklet tartományban az alábbi egyenlettel számítható:

$$c_s(\text{tömeg \%}) = 0,163 + 2,56 \cdot 10^{-3} \cdot \vartheta + 1,79 \cdot 10^{-4} \cdot \vartheta^2 \quad [\vartheta] = ^\circ\text{C} \quad (15)$$

Felesleges a mérőoldat fogyásából a c koncentrációkat kiszámítani, ehelyett számítással a mérés átlagos hőmérsékletén vett c_s telítési benzooesav koncentrációt célszerű átszámítani 5 cm³ telített oldattal ekvivalens mérőoldat-térfogatra (x_s).

Mivel az oldat igen híg, sűrűsége egyenlőnek vehető a vízével (még a telített koncentráció átszámításánál is). 1 cm³ 0,01 n NaOH mérőoldat megfelel 0,001221 g benzooesavnak. A víz és vízgőz adatai kézikönyvekből (pl. a fülüzemi laborban megtalálható Vegyész-mérnökök kézikönyve) keresendők ki.

Titrlási eredmények és a számított értékek:

Mért értékek			Számított értékek		
A mérés megkezdésétől a mintavételig eltelt idő (min)	Hőmérséklet (°C)	mérőoldat fogyás (x , cm ³)	$x_s - x$	$\frac{x_s}{x_s - x}$	$\lg\left(\frac{x_s}{x_s - x}\right)$
1)					
2)					
3)					
4)					
5)					
6)					
7)					
8)					
9)					

2) $\lg \frac{x_S}{x_S - x} - t$ diagram, és az illesztett egyenes egyenlete:

tengelymetszet (a): meredekség (m):

$$A_{korr} = \frac{d_{edény}^2 \pi}{4} - k \frac{d_{korong}^2 \pi}{4} = \quad \text{m}^2$$

$$\beta_{mért} = \frac{2,303 \cdot V \cdot m}{A_{korr}} = \quad \text{m}^2/\text{s}$$

$$\delta_{mért} = \frac{D}{\beta_{mért}} = \quad \text{m}$$

3) Az anyagátadási tényező számítása a transzportfolyamatok analógiáját felhasználva:

$$\text{Re}_{kev} = \frac{d^2 n \rho}{\eta} =$$

$$\text{Sc} = \frac{\eta}{\rho D} =$$

$$\text{Sh} = 0,37 \text{Re}_{kev}^{2/3} \text{Sc}^{1/3} =$$

$$\beta_{számított} = \frac{\text{Sh} \cdot D}{d_{edény}} = \quad \frac{\beta_{mért}}{\beta_{számított}} =$$

Megjegyzés: Az anyagátadási tényező (β) analógia felhasználásával számított értéke csupán közelítő becslés, mivel egyrészt a készülékünk geometriailag nem teljesen hasonló a keverős duplikátorhoz, másrészt az edény fenekére vonatkozó átlagos fajlagos átadási áram nagyobb, mint az oldalfalakon és a fenéken kapható átlagos fajlagos átadási áram. Megjegyzendő, hogy *Mizushima* és munkatársai azonos keverős berendezésben végzett impulzus-, hő- és anyagátadási mérésekkel bizonyították a Chilton-Colburn analógia érvényességét [7].

VI. Beadandó

A jegyzőkönyvben mérési leírást, készülékábrát csak akkor tüntessenek fel, ha arról valamit mondani is szeretnének (pl. nem egyezett meg a jelen leírással, ezért a különbséget jelölik). Ellenkező esetben elegendő egy mondat, hogy a mérést a mérési leírati szerinti készüléken és módon végezték.

1. Az adattábla a mérési adatokkal (mérésvezető által aláírva).
2. A részletes számolás, amelyben az eredmények (1-3. pontok) ki vannak emelve. Ügyeljenek a mértékegységek megadására!
3. A kapott eredmények szöveges értékelése, a mérés során esetlegesen elkövetett hibák leírása.

Irodalom:

- [1] Simándi Béla szerk.: Vegyipari műveletek II. Anyagátadó műveletek és kémiai reakciók, Typotex, 2012.
- [2] Tettamanti K.: Vegyipari Műveletek, Ábrafüzet II. 121. ábra.
- [3] Nernst: Zeitschrift f. Phys.Chem. 97, 52-55 (1904)
- [4] Noyes-Whitney: Zeitschrift f. Phys.Chem. 23 689 (1897)
- [5] Brunner: Zeitschrift f. Phys.Chem. 97, 56-102 (1904)
- [6] Whitman, W. G. Chem. Met. Eng. 29, 147 (1923)
- [7] Mizushina, T., Ito, R., Hiraoka, S., Ibusuki, A., Sakaguchi, I.: J. Chem. Eng. Japan 2, 89 (1969)
- [8] Tanszéki munkaközösség: Vegyipari félüzemi praktikum, Egyetemi jegyzet, 65029, Műegyetemi Kiadó, 2000.
- [9] Fonyó Zs., Deák A., Hunek J.: Komponensátadási tényező meghatározása oldódásnál, Magyar Kémikusok Lapja, **58**, 46-48, (2003)

A leíratot a [8] és [9] irodalmak alapján készítette: Deák András
Ellenőrizte: Lakné Komka Kinga
Lőrincz László

Budapest, 2017. augusztus